

07	1. CONSTITUIÇÃO DOS CABOS ELÉCTRICOS
07	1.1 INTRODUÇÃO
07	1.2 PARTES CONSTITUINTES
07	1.2.1 Condutores
13	1.2.2 Materiais de isolamento e de revestimento exterior (bainhas)
21	1.2.3 Condutores concêntricos
21	1.2.4 Blindagens
25	1.2.5 Armaduras
26	1.2.6 Bainhas
26	1.2.7 Enfitagens
26	1.2.8 Agrupamento dos condutores
27	2. NORMALIZAÇÃO
29	3. IDENTIFICAÇÃO DOS CABOS
29	3.1 SISTEMA DE DESIGNAÇÕES
30	3.1.1 Cabos harmonizados
31	3.1.2 Cabos não harmonizados
32	3.2 SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DOS CONDUTORES ISOLADOS
33	3.3 MARCAÇÃO
35	4. CRITÉRIOS PARA A SELECÇÃO DE UM CABO DE BAIXA TENSÃO
35	4.1 TENSÃO ESTIPULADA
35	4.2 SELECÇÃO DO TIPO CONSTRUTIVO NA GAMA CABELTE
38	4.3 CRITÉRIOS PARA A SELECÇÃO DA SECÇÃO NOMINAL DO CONDUTOR
38	4.3.1 Determinação da secção mínima que permite escoar a corrente de serviço
38	4.3.1.1 Cálculo da Corrente de serviço
39	4.3.1.2 Corrente máxima admissível do cabo
47	4.3.2 Corrente máxima admissível em regime de curto circuito
48	4.3.3 Queda de tensão
50	4.3.4 Secção económica
52	5. CÁLCULO DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DOS CABOS DE BAIXA TENSÃO
52	5.1 RESISTÊNCIA ÓHMICA
52	5.2 INDUTÂNCIA
53	5.3 REACTÂNCIA
54	6. COMPORTAMENTO DOS CABOS AO FOGO
55	6.1 CABOS IGNÍFUGOS
56	6.2 SELECÇÃO DE CABOS
57	6.3 NORMALIZAÇÃO
59	7. INSTALAÇÃO
59	7.1 ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE
65	8. ANEXO
65	8.1 CORRENTES ADMISSÍVEIS NOS CONDUTORES ISOLADOS E CABOS
69	8.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS PARA AS CONSTRUÇÕES STANDARD DOS CABOS DE BAIXA TENSÃO INDUSTRIAIS

1. CONSTITUIÇÃO DOS CABOS ELÉTRICOS

1.1 INTRODUÇÃO

Numa caracterização genérica, um cabo eléctrico de energia de baixa tensão é constituído por um ou por vários condutores de baixa resistência eléctrica que possibilitam a transmissão de uma corrente eléctrica com perdas reduzidas, por uma camada isolante aplicada em torno dos condutores que se destina a separá-los electricamente entre si, de forma a suportarem a tensão de serviço, e a isolá-los relativamente ao exterior.

As condições de instalação e as influências externas podem também obrigar à inclusão de outros componentes, tais como: blindagens, que conferem protecção eléctrica, armaduras que conferem protecção mecânica e bainhas para assegurar a protecção contra os agentes exteriores.

1.2 PARTES CONSTITUINTES

1.2.1 CONDUTORES

Os condutores constituem o núcleo de transmissão de energia dos cabos eléctricos. Os materiais condutores mais comuns nos cabos isolados de energia de baixa tensão são o cobre macio e o alumínio macio ou duro. Tal se deve à excelente condutividade eléctrica de ambos, ao seu custo e às suas características mecânicas de excepção, que se traduzem na facilidade de serem transformados até à forma de fio.

TABELA 1.1 - CARACTERÍSTICAS DO COBRE E DO ALUMÍNIO

Características	Cobre (recozido)	Alumínio
Grau de pureza (%)	> 99,9	> 99,5
Densidade a 20°C (gr/cm ³)	8,89	2,70
Resistividade a 20°C (Ω.mm ² /m)	0,017241	0,028264
Coefficiente de variação da resistência óhmica, temp. de referência = 20°C (°C ⁻¹)	0,00393	0,00403
Coefficiente de dilatação linear (°C ⁻¹)	17x10 ⁻⁶	23x10 ⁻⁶
Condutividade térmica (W/cm.°C)	3,85	2,17
Calor específico (Cal/°C.g)	0,093	0,214
Ponto de fusão (°C)	1080	660
Tensão de rotura (N/mm ²) *	200 a 250	125 a 205; 60 a 105 (macio)
Alongamento à rotura (%) *	15 a 35	1 a 4; 15 a 25 (macio)

* Valores indicativos

A caracterização de um condutor de um cabo eléctrico não fica completa com a definição do tipo de material. Existe um conjunto de características, igualmente importantes, que é necessário especificar, particularmente:

- A secção normalizada
- A resistência óhmica
- A forma
- A composição

Os condutores utilizados nos cabos de energia de baixa tensão são constituídos por um único fio (circular ou sectorial), ou por vários fios cableados (torcidos entre si), e podem ser rígidos ou flexíveis.

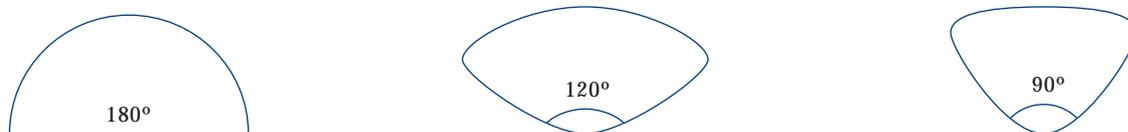
Os condutores rígidos podem ser divididos em maciços (unifilares, normalmente circulares de cobre, ou circulares ou sectoriais de alumínio) e cableados (multifilares, de cobre ou alumínio, redondos, compactados ou não, ou sectoriais).

FIG. 1.1 - SECÇÃO RECTA TRANSVERSAL DE VÁRIOS TIPOS DE CONDUTORES



Os condutores sectoriais podem ser divididos em várias categorias consoante a sua forma. Os mais usuais correspondem aos sectores a 180°, 120° e 90° utilizados nos cabos de 2, 3 e 4 condutores, respectivamente.

FIG. 1.2 – CONDUTORES SECTORIAIS



A construção sectorial permite reduzir a dimensão dos cabos, tirando-se daí vantagens em termos de redução do seu custo e da sua instalação. Para condutores sectoriais maciços a ligação dos cabos é feita com terminais próprios, mas nos multifilares é corrente utilizarem-se os terminais usados para cravação dos condutores circulares.

Normalmente, os condutores rígidos multifilares são compactados nas secções a partir de 6 mm². A compactação consiste em pressionar os fios elementares do condutor para o interior do mesmo, de forma a reduzir os espaços vazios e regularizar a superfície exterior do condutor.

Com esta operação consegue-se reduzir a dimensão dos condutores e, ao mesmo tempo, produzir uma superfície exterior mais uniforme e lisa, o que se torna vantajoso pela diminuição do consumo do material isolante, que de outra maneira penetraria nos interstícios do condutor. Por outro lado, permite regularizar o campo eléctrico à superfície do condutor, aspecto importante sobretudo nos cabos de média tensão e alta tensão.

A classificação rígido e flexível está ligada à aplicação dos cabos, relacionando-se sobretudo com as características construtivas dos condutores.

Com efeito a flexibilidade de um cabo, desde que não armado, depende muito da flexibilidade dos seus condutores. O aumento da flexibilidade de um condutor é obtido através da diminuição do diâmetro dos fios elementares que o constituem, o que implica um aumento do número dos fios, e através da redução do passo de torção dos mesmos.

Para instalações fixas são usados condutores rígidos. Os condutores de cobre até à secção de 6 mm², inclusivé, são normalmente maciços e a partir daquela secção cableados. Os condutores de alumínio podem ser maciços ou cableados, estando disponíveis para secções a partir de 10 mm².

Em cabos de 2, 3 e 4 condutores, todos com a mesma secção, ou nos cabos de 4 condutores, um dos quais com uma secção reduzida, os condutores (de maior secção) são habitualmente sectoriais a partir das secções de 35 mm², inclusivé.

TABELA 1.2 – CONFIGURAÇÃO DOS CONDUTORES RÍGIDOS DOS CABOS DE BAIXA TENSÃO

Secção nominal (mm ²)	Maciço (classe 1)		Cableado (classe 2)	
	Alumínio	Cobre	Alumínio	Cobre
1,5	n.a.	C	n.a.	(C)
2,5	n.a.	C	n.a.	(C)
4	n.a.	C	n.a.	(C)
6	n.a.	C	n.a.	(C)
10	(C)	(C)	(C)	C
16	C	(C)	C	C
25	S	-	C	C
35	S	-	S ou C	S ou C
50	S	-	S ou C	S ou C
70	S	-	S ou C	S ou C
95	S	-	S ou C	S ou C
120	S	-	S ou C	S ou C
150	S	-	S ou C	S ou C
185	S	-	S ou C	S ou C
240	S	-	S ou C	S ou C
280	S*	n.a.	n.a.	n.a.
300	S	-	C ou (S)	C ou (S)
380	S*	n.a.	n.a.	n.a.
400	S	-	C	C
500	S	-	C	C
630	S	-	C	C
800	S	-	C	C

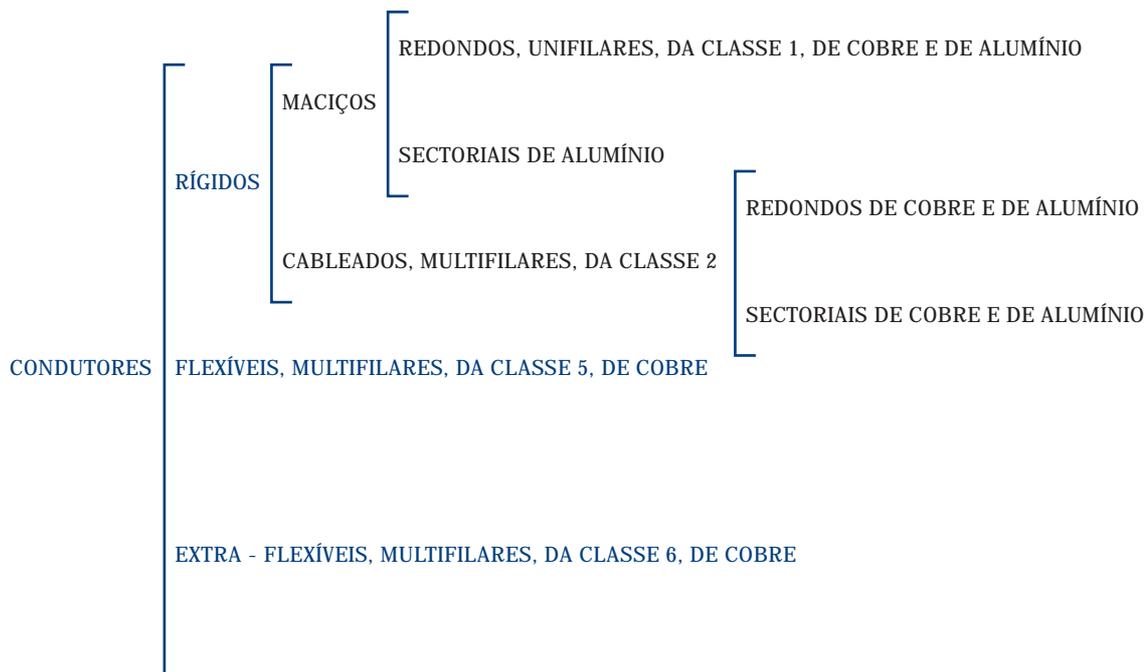
S – Forma sectorial; C – Forma circular; () – Pode ser usada, mas não é standard; n.a. – Não aplicável

* Existem no mercado nacional duas secções não normalizadas ao nível da IEC/EN 60228. São os condutores nas secções de 280 mm² e 380 mm² formados por 4 sectores a 90°, maciços. Estes condutores são utilizados no fabrico de cabos LSVV para a EDP.

Os condutores flexíveis são usados nas instalações fixas nos casos em que seja necessário facilitar as operações de instalação. Para as instalações móveis, onde os cabos alimentam aparelhos móveis, são utilizados apenas condutores flexíveis. Os condutores flexíveis são normalizados apenas para o cobre, são sempre circulares e estão disponíveis em todas as secções até 630 mm².

NORMA EN 60228

Os condutores dos cabos que constam deste catálogo seguem o especificado na norma EN 60228, cujo texto foi adoptado da norma IEC 60228 “ Conductors of insulated cables”. Este documento constitui a norma base da generalidade dos condutores utilizados nos cabos isolados, tanto em Portugal, como a nível europeu. Esta norma define as secções normalizadas e as respectivas resistências óhmicas para vários níveis de flexibilidade e algumas características mecânicas. Os condutores são agrupados em várias classes consoante a sua composição: classe 1 – Condutores unifilares ou maciços, classe 2 – Condutores cableados, classe 5 – Condutores flexíveis, classe 6 – Condutores com grau de flexibilidade superior aos da classe 5 e, por isso, correntemente designados de extra-flexíveis.



Os valores de resistência óhmica são apresentados para o cobre nú recozido, para o cobre revestido, habitualmente estanhado (utilizado em determinadas instalações quando, por exemplo, há um risco elevado de corrosão), para o alumínio e para as ligas de alumínio (estas têm pouca utilização na baixa tensão).

A EN 60228 especifica ainda os valores de tensão de ruptura para os condutores de alumínio, e que se apresentam na TABELA 1.3.

TABELA 1.3 – CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS CONDUTORES DE ALUMÍNIO

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Condutores sólidos	Condutores circulares ou sectoriais cableados
	Tensão de ruptura (N/mm ²)	Tensão de ruptura dos fios constituintes antes de cablear (N/mm ²)
10	110 a 165	até 200
16	110 a 165	125 a 205
25 e 35	60 a 130	125 a 205
50	60 a 110	125 a 205
70 e maior	60 a 90	125 a 205

A introdução destes valores foi apenas realizada na última revisão da norma, ou seja, em 2004. Anteriormente, não se especificavam valores de tensão de ruptura pelo que se utilizavam os valores definidos na NP 1108 “Fios e perfis de alumínio para condutores de cabos eléctricos isolados”, associados às nomenclaturas macio, 3/4 duro e duro. Na versão actual da NP 1108 excluiu-se esta notação e seguiram-se os critérios estabelecidos na EN 60228.

As características mecânicas do cobre não são especificadas na EN 60228. O cobre nu ou revestido, a que correntemente se dá o nome de macio, é utilizado recozido. Para determinadas aplicações particulares pode ser utilizado o cobre duro, não recozido. Os valores típicos de tensão de ruptura e alongamento para o cobre macio são os indicados na TABELA 1.1 (para o cobre duro: 340 a 460 N/mm² e 1 a 4%, respectivamente). As características térmicas são iguais, havendo, no entanto, uma pequena diferença nas características eléctricas, sendo o valor da resistividade de 0,01793 Ω.mm²/m para o cobre duro.

RESISTÊNCIA ÓHMICA DO CONDUTOR

A resistência óhmica ou resistência eléctrica de um condutor de um cabo, medida em corrente contínua, e à temperatura de 20°C é dada pela seguinte expressão:

(1.1)

$$R(\Omega/\text{km}) = \frac{\rho}{S} \times f_{cabl.fio} \times f_{cabl.cond}$$

Em que:

ρ – Resistividade do material a 20°C ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)

S – Secção recta transversal do condutor (mm^2). Se o condutor for multifilar, esta é obtida através do somatório das secções de cada fio unifilar que o constitui.

$f_{cabl.fio}$ (aplicável a condutores multifilares) – Factor que tem em conta o acréscimo de comprimento de cada fio em relação ao comprimento do condutor e que resulta da respectiva torção.

$f_{cabl.cond}$ (aplicável a cabos multicondutores) – Factor que tem em conta o acréscimo de comprimento de cada condutor em relação ao comprimento do cabo, resultante do cableamento dos condutores.

Esta expressão é, no entanto, pouco usada, já que se torna complexo determinar o valor correcto de cada um dos factores, e como facilmente se verifica, o seu cálculo dependeria muito do fabrico de cada cabo ou condutor. Para ultrapassar esta dificuldade, a secção dos condutores, para cada secção nominal, não é caracterizada pela sua secção geométrica, mas pela resistência eléctrica que lhe está associada pelas normas de construção.

Assim, a EN 60228 especifica os valores de resistência óhmica para os condutores, já em cabo, medidos em corrente contínua, a 20°C, para um conjunto de secções padronizadas (de 0,5 mm^2 até 2500 mm^2). São estes os valores seguidos pela indústria dos cabos.

Nestas tabelas indicam-se os requisitos relativos ao número mínimo de fios que compõem aquelas secções e que, como se referiu, está relacionado com a maior ou menor flexibilidade que se pretende para os condutores e cabos que os integram.

TABELA 1.4 – CONDUTORES RÍGIDOS, MACIÇOS, DA CLASSE 1

Secção nominal (mm^2)	Resistência máxima, em c.c, a 20°C		
	Condutores de cobre recozido		Condutores de alumínio ou liga de alumínio, circulares ou sectoriais (Ω/km)
	Nu (Ω/km)	Revestido (Ω/km)	
0,5	36,0	36,7	n.a.
0,75	24,5	24,8	n.a.
1,0	18,1	18,2	n.a.
1,5	12,1	12,2	n.a.
2,5	7,41	7,56	n.a.
4	4,61	4,70	n.a.
6	3,08	3,11	n.a.
10	1,83	1,84	3,08
16	1,15	1,16	1,91
25	0,727	n.a.	1,20
35	0,524	n.a.	0,868
50	0,387	n.a.	0,641
70	0,268	n.a.	0,443
95	0,193	n.a.	0,320
120	0,153	n.a.	0,253
150	0,124	n.a.	0,206
185	0,101	n.a.	0,164
240	0,0775	n.a.	0,125
300	0,0620	n.a.	0,100

Nota:

Os condutores de cobre a partir da secção de 25 mm^2 , inclusive, são aplicados apenas em cabos particulares, por exemplo, os cabos de isolamento mineral.

Embora a EN 60228 preveja apenas condutores circulares para as secções de alumínio de 10 mm^2 a 35 mm^2 no mercado português utilizam-se condutores sectoriais para as secções de 25 mm^2 e 35 mm^2 .

Nos cabos monocondutores de alumínio, os condutores a partir da secção de 95 mm^2 inclusive, podem ser constituídos por 4 sectores sólidos a 90°C. A resistência máxima do conjunto é igual a 25% da resistência do sector individual.

TABELA 1.5 – CONDUTORES RÍGIDOS, CABLEADOS, DA CLASSE 2

Secção nominal (mm ²)	Nº. mínimo de fios do condutor						Resistência máxima, em c.c. a 20°C		
	Circular		Circular compactado		Sectorial		Condutor de cobre recozido		Condutor de alumínio ou liga de alumínio, (Ω/km)
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Nu (Ω/km)	Revestido (Ω/km)	
0,5	7						36,0	36,7	
0,75	7						24,5	24,8	
1,0	7						18,1	18,2	
1,5	7		6				12,1	12,2	
2,5	7		6				7,41	7,56	
4	7		6				4,61	4,70	
6	7		6				3,08	3,11	
10	7	7	6	6			1,83	1,84	3,08
16	7	7	6	6			1,15	1,16	1,91
25	7	7	6	6	6	6	0,727	0,734	1,20
35	7	7	6	6	6	6	0,524	0,529	0,868
50	19	19	6	6	6	6	0,387	0,391	0,641
70	19	19	12	12	12	12	0,268	0,270	0,443
95	19	19	15	15	15	15	0,193	0,195	0,320
120	37	37	18	15	18	15	0,153	0,154	0,253
150	37	37	18	15	18	15	0,124	0,126	0,206
185	37	37	30	30	30	30	0,0991	0,100	0,164
240	37	37	34	30	34	30	0,0754	0,0762	0,125
300	61	61	34	30	34	30	0,0601	0,0607	0,100
400	61	61	53	53	53	53	0,0470	0,0475	0,0778
500	61	61	53	53	53	53	0,0366	0,0369	0,0605
630	91	91	53	53	53	53	0,0283	0,0286	0,0469

TABELA 1.6 – CONDUTORES FLEXÍVEIS DE COBRE, DA CLASSE 5

Secção nominal (mm ²)	Diâmetro máximo dos fios do condutor (mm)	Resistência máxima, em c.c. a 20°C	
		Nu (Ω/km)	Revestido (Ω/km)
0,5	0,21	39,0	40,1
0,75	0,21	26,0	26,7
1,0	0,21	19,5	20,0
1,5	0,26	13,3	13,7
2,5	0,26	7,98	8,21
4	0,31	4,95	5,09
6	0,31	3,30	3,39
10	0,41	1,91	1,95
16	0,41	1,21	1,24
25	0,41	0,780	0,795
35	0,41	0,554	0,565
50	0,41	0,386	0,393
70	0,51	0,272	0,277
95	0,51	0,206	0,210
120	0,51	0,161	0,164
150	0,51	0,129	0,132
185	0,51	0,106	0,108
240	0,51	0,0801	0,0817
300	0,51	0,0641	0,0654
400	0,51	0,0486	0,0495
500	0,61	0,0384	0,0391
630	0,61	0,0287	0,0292

TABELA 1.7 – CONDUTORES EXTRA-FLEXÍVEIS DE COBRE, DA CLASSE 6

Secção nominal (mm ²)	Diâmetro máximo dos fios do condutor (mm)	Resistência máxima, em c.c, a 20°C	
		Nu (Ω/km)	Revestido (Ω/km)
0,5	0,16	39,0	40,1
0,75	0,16	26,0	26,7
1,0	0,16	19,5	20,0
1,5	0,16	13,3	13,7
2,5	0,16	7,98	8,21
4	0,16	4,95	5,09
6	0,21	3,30	3,39
10	0,21	1,91	1,95
16	0,21	1,21	1,24
25	0,21	0,780	0,795
35	0,21	0,554	0,565
50	0,31	0,386	0,393
70	0,31	0,272	0,277
95	0,31	0,206	0,210
120	0,31	0,161	0,164
150	0,31	0,129	0,132
185	0,41	0,106	0,108
240	0,41	0,0801	0,0817
300	0,41	0,0641	0,0654

REQUISITOS DIMENSIONAIS

Em termos dimensionais a EN 60228 especifica, apenas para o cobre, os diâmetros máximos para os condutores maciços (classe 1), cableados (classe 2) e flexíveis (classes 5 e 6), e os diâmetros mínimos para os condutores cableados compactados; para o alumínio e ligas, os diâmetros máximos e mínimos para os condutores cableados e compactados (classe 2). Não estabelece limites dimensionais para os condutores sectoriais de cobre ou alumínio. Para os condutores de alumínio maciços sectoriais segue-se o especificado na norma portuguesa NP 1108.

EQUIVALÊNCIA ENTRE O COBRE E O ALUMÍNIO

O emprego do alumínio nos cabos em geral e na baixa tensão tem vindo a aumentar, tal se devendo sobretudo a razões económicas. A ponderação no uso do cobre ou alumínio deve ser feita tendo em atenção, não apenas o custo unitário da matéria prima, mas também outros factores como: a secção eléctrica equivalente, a intensidade máxima admissível e o peso de cada um dos condutores.

i) SECÇÃO ELÉCTRICA EQUIVALENTE

Comparando dois condutores, um de cobre e um de alumínio, do mesmo comprimento e com o mesmo valor de resistência óhmica podem estabelecer-se as relações de secção e de massa:

(1.2)

$$R_{\text{alumínio}} = R_{\text{cobre}} \Rightarrow \frac{\rho_{\text{alumínio}}}{S_{\text{alumínio}}} = \frac{\rho_{\text{cobre}}}{S_{\text{cobre}}} \Rightarrow \frac{S_{\text{alumínio}}}{S_{\text{cobre}}} = 1,63$$

(1.3)

$$\frac{m_{\text{alumínio}}}{m_{\text{cobre}}} = \frac{S_{\text{alumínio}} \times d_{\text{alumínio}}}{S_{\text{cobre}} \times d_{\text{cobre}}} = 0,5$$

Ou seja, para a mesma resistência óhmica a secção de um condutor de alumínio é cerca de 63% superior à do cobre e pesa cerca de metade.

ii) INTENSIDADES ADMISSÍVEIS PARA A MESMA SECÇÃO

Em regime permanente

Não é possível traduzir numa expressão simples, que abranja a generalidade das canalizações, a relação de intensidades entre condutores de cobre e de alumínio da mesma secção. Consoante o tipo de cabo e as condições de instalação, a intensidade de corrente de um condutor de alumínio poderá variar, para a generalidade das situações e em cabos de baixa tensão não armados e não blindados, entre 70 a 80% da intensidade de corrente para o condutor de cobre da mesma secção.

(1.4)

$$\frac{I_{\text{alumínio}}}{I_{\text{cobre}}} = \sqrt{\frac{R_{\text{cobre}}}{R_{\text{alumínio}}}} = \sqrt{\frac{\rho_{\text{cobre}}}{\rho_{\text{alumínio}}}} = 0,78$$

Em curto-circuito

Considerando o cálculo da corrente de curto-circuito no condutor no regime adiabático (sem dissipação de calor) e relacionando as correntes de curto-circuito, obtém-se:

(1.5)

$$\frac{ICC_{aluminio}}{ICC_{cobre}} = \sqrt{\frac{K^2_{aluminio} \times S^2_{aluminio} \times \ln\left(\frac{T_f + \beta_{aluminio}}{T_i + \beta_{aluminio}}\right)}{K^2_{cobre} \times S^2_{cobre} \times \ln\left(\frac{T_f + \beta_{cobre}}{T_i + \beta_{cobre}}\right)}} = 0,66$$

K e β são constantes que dependem do material ($K = 226$; $\beta = 234,5$ para o cobre e $K = 148$; $\beta = 228$ para o alumínio). - Valores tabelados na CEI 949 "Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects".

T_i e T_f - Temperaturas inicial e final de curto circuito, por exemplo: 90°C e 250°C para isolamento de XLPE.

1.2.2 MATERIAIS DE ISOLAÇÃO E DE REVESTIMENTO EXTERIOR

A isolação dos condutores tem uma importância fundamental em matéria de segurança da instalação e condições de exploração. Para a qualidade da isolação concorrem, em simultâneo; a qualidade e propriedades do material isolante, a sua espessura e a qualidade do seu processamento (extrusão do material sobre o condutor).

As bainhas exteriores têm a função de assegurar a protecção do cabo das influências externas. Em particular, devem garantir a estanquidade em relação à água e melhorar a resistência a agentes nocivos, tais como, substâncias corrosivas, agentes atmosféricos, etc.

Neste capítulo faz-se uma descrição dos principais materiais plásticos utilizados como isolação e bainhas dos cabos de baixa tensão, com particular incidência nos mais comuns. Importa referir que as características intrínsecas dos materiais se mantêm, quer sejam utilizados como isolação, quer sejam utilizados como bainhas, razão pela qual se agrupam neste capítulo estes dois conjuntos.

Na isolação e na bainha exterior da generalidade dos cabos de baixa tensão são empregues materiais sintéticos, plásticos, do tipo polimérico. Estes materiais são por vezes referenciados como isolantes secos, designação adoptada por oposição à isolação de papel e óleo.

Os polímeros são macromoléculas que resultam da união de moléculas elementares a que se dá o nome de monómeros. De acordo com o tipo de estrutura do polímero podem ser divididos em três grandes grupos: termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros.

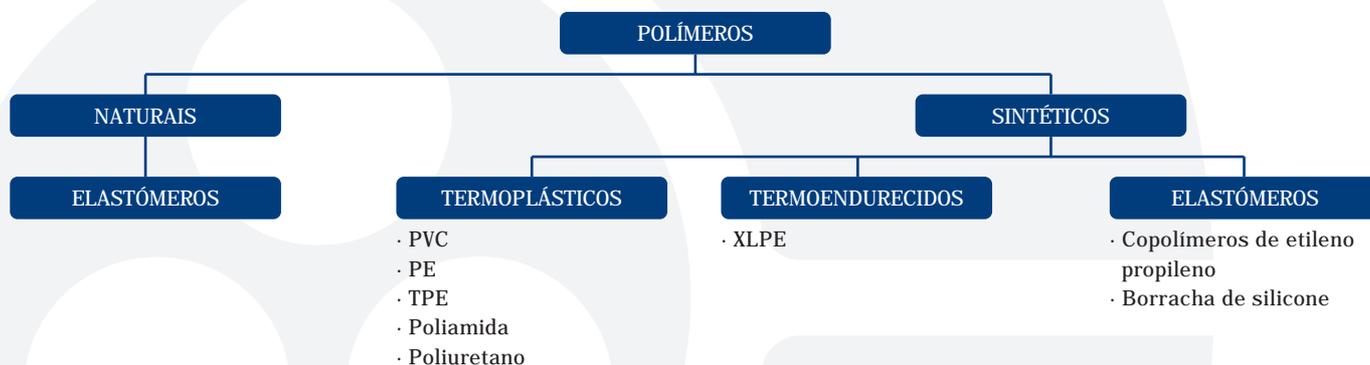
Os materiais termoplásticos são aqueles que alteram a sua plasticidade por aumento da temperatura, sendo esta alteração reversível. Uma das características principais que distinguem um termoplástico de um termoendurecido é que o primeiro pode ser reprocessado, ou seja, fundido ou amolecido novamente após o seu estado sólido, e o termoendurecido não.

Os termoplásticos são polímeros de elevado peso molecular, constituídos por cadeias lineares ou ligeiramente ramificadas. Quando aquecidos transformam-se num líquido viscoso que pode ser moldado ou extrudido com equipamento apropriado. Podem ser rígidos ou flexíveis, são solúveis ou incham em vários solventes.

As propriedades dos termoplásticos são determinadas pela sua estrutura e arranjos moleculares.

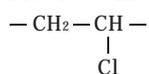
Os termoendurecidos são plásticos rígidos com ligações químicas covalentes (reticulações) entre as cadeias poliméricas. Apresentam dificuldade em deformarem-se, não fundem ou amolecem, têm boa resistência térmica, são insolúveis e dificilmente incham.

Os elastómeros ou borrachas são constituídos por cadeias moleculares longas e com grande capacidade de deformação. Não amolecem nem se dissolvem, podem inchar se colocados em solventes. Possuem um grau de elasticidade elevado e as suas propriedades dependem do grau de reticulação.



O **POLICLORETO DE VINILO**, habitualmente referenciado como PVC, é constituído por uma resina base obtida por polimerização do cloreto de vinilo. O monómero de base é obtido por acção do cloro sobre o etileno.

FIG. 1.3 – TIPO DE ESTRUTURA DO PVC



Esta resina não é utilizada de forma directa na isolamento dos cabos devido à sua fragilidade mecânica e térmica, sendo necessário incorporar aditivos que lhe dão as propriedades necessárias. Do conjunto de aditivos destacam-se:

- Os estabilizantes que reduzem a tendência de decomposição do PVC. A resina é termicamente instável podendo-se decompor com facilidade para temperaturas acima de 70°C. A degradação do PVC ocorre por perda de HCl, o que provoca uma alteração na sua cor. Os estabilizantes ultra violeta também são adicionados para protegerem o material das radiações UV que também podem causar a perda de HCl;
- Os plastificantes, solventes não voláteis, que actuam para tornar o material mais maleável, separando as cadeias poliméricas e proporcionando assim maior flexibilidade;
- Os lubrificantes que ajudam a processar o material nas extrusoras, reduzem a viscosidade, diminuindo o esforço da máquina;
- Os aditivos anti-envelhecimento que são adicionados para dar resistência à formulação contra o ataque do oxigénio, ozono e degradação UV;
- Os antioxidantes que actuam fazendo parar as reacções entre radicais livres que ocorrem durante o processo de oxidação;
- As cargas que são adicionadas para reduzir o custo do composto. No entanto, estes aditivos podem fazer aumentar a dureza, pelo que têm que ser doseados convenientemente;
- Aditivos para melhorar as propriedades de não propagação da chama. O PVC é um polímero que se autoextingue e esta sua propriedade decorre da libertação do HCl da cadeia sob a forma de gás, na presença do fogo. O gás HCl é mais denso que o ar e impede o mesmo de chegar à chama. No entanto, e em casos especiais, podem ser adicionados outros componentes para melhorar este comportamento.
- Pigmentos que permitem colorir o material de forma a possibilitar a identificação, por exemplo, dos diversos condutores de um cabo por coloração da isolamento.

Esta possibilidade de utilizar vários aditivos e de combiná-los de diferente maneira permite obter vários compostos de PVC, com características diferenciadas que respondem a diferentes condições de utilização e exploração. Nomeando as mais usadas:

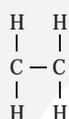
- Compostos de PVC para temperaturas de serviço até 90°C
- Compostos de PVC para temperaturas de serviço até 105°C
- Compostos de PVC para temperaturas negativas até -30°C, para instalações fixas
- Compostos de PVC com resistência acrescida aos óleos
- Compostos de PVC com resistência aos hidrocarbonetos
- Compostos de PVC não propagadores do incêndio e com baixo teor de halógenos (< 5% , quando as formulações normais chegam aos 30%)
- Compostos de PVC isentos de chumbo – este tipo de compostos tem vindo a ganhar mercado sendo mesmo uma exigência ao nível da regulamentação de alguns países como, por exemplo, a Suécia que, por razões ambientais, têm imposto a não utilização de chumbo, já que este material é tóxico. Em Portugal para cabos instalados no interior de equipamentos também são obrigatórios. Nestas formulações usam-se estabilizantes à base de cálcio e zinco.
- Compostos de PVC com resistência ao ataque de térmitas, micro-organismos, etc...

Das propriedades dos compostos de PVC destacam-se as perdas dieléctricas baixas e o bom comportamento eléctrico à temperatura ambiente; a boa resistência mecânica (tensão de ruptura versus alongamento), a resistência ao desgaste e à compressão, a resistência ao fluimento a temperaturas elevadas, o baixo envelhecimento térmico, a boa resistência química desde que possua formulações adequadas, a boa resistência ao óleo, o bom comportamento ao fogo no que diz respeito à não propagação da chama e a sua autoextinção. Estas propriedades fazem dele o material mais utilizado como revestimento externo dos cabos de baixa tensão e como isolante dos cabos para aplicações domésticas.

Como características limitadoras do seu uso generalizado destacam-se: a fragilidade a baixas temperaturas que impossibilita a sua utilização em instalações móveis a temperaturas inferiores a -5°C; a libertação de fumos opacos e corrosivos quando em combustão, o que impossibilita a sua utilização em instalações onde seja obrigatório a utilização de materiais “zero halógenos”. A redução das suas propriedades eléctricas para temperaturas elevadas condiciona a sua utilização como isolante para temperaturas do condutor, em regime permanente, acima de 70°C. De notar ainda que os compostos de PVC perdem propriedades mecânicas acima de 140°C.

POLIETILENO – É o termoplástico de estrutura mais simples, baseado numa macromolécula de um hidrocarboneto. É um polímero semi-cristalino obtido por polimerização do etileno.

FIG. 1.4 – TIPO DE ESTRUTURA DO POLIETILENO

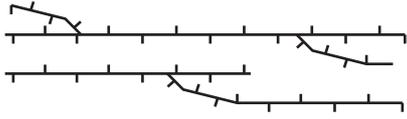
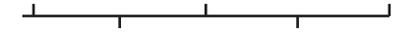


Quando produzido a baixa pressão apresenta pequenas cadeias laterais, que dependendo do número, resultam nos polietilenos de alta densidade, média densidade ou linear de baixa densidade. Se produzido a alta pressão obtém-se o polietileno de baixa densidade, caracterizado por longas cadeias laterais. É este o tipo de polietileno utilizado na isolamento dos cabos de energia de baixa tensão.

O polietileno é um material isolante de excelência, resultado do seu grau de pureza e das suas propriedades intrínsecas. Nas composições industriais são também usados aditivos, tais como antioxidantes, que limitam o envelhecimento por oxidação, agentes de expansão ou pigmentos para coloração da massa.

Existem vários graus de polietileno usados nas bainhas dos cabos de energia; polietileno de alta densidade, polietileno de média densidade, polietileno linear de baixa densidade e polietileno de baixa densidade. A estrutura química do polímero define as propriedades do material, sendo a densidade um dos parâmetros mais importantes do ponto de vista de comportamento.

Com o aumento da densidade melhora-se a resistência química, a resistência mecânica (tensão de ruptura), a resistência à abrasão; melhora-se a estanquidade aos gases, reduz-se a deformação a temperaturas elevadas, mas aumenta-se a dureza e contracção do material e reduz-se a resistência ao impacto e à fissuração.

Tipo	Estrutura molecular	Densidade - valores típicos (gr/cm ³)
Linear baixa densidade		0,920
Baixa densidade		0,918
Média densidade		0,936
Alta Densidade		0,948

O polietileno é um material que responde muito bem a baixas temperaturas e tem baixa absorção de água, pelo que é muito usado em instalações em que os cabos podem estar submersos permanente ou temporariamente, sendo neste último caso mais adequado o de alta densidade.

É susceptível de se degradar com radiação ultra-violeta do Sol e de alguma luz artificial. Nos casos em que os cabos ficam sujeitos a estes tipos de radiações adiciona-se ao polietileno da bainha cerca de 2 a 2,5% de negro de fumo se a bainha for preta, se tiver que possuir outras cores, utilizam-se outros aditivos que conferem um melhor comportamento àquelas radiações. Também se utilizam aditivos para conferir resistência à fissuração.

O polietileno é sobretudo utilizado como bainha dos cabos de média e alta tensão. Na baixa tensão é pouco utilizado já que é inflamável (propagador da chama) e confere maior dureza e rigidez ao cabo. No entanto, nos casos em que estas propriedades não sejam determinantes, e seja sobretudo importante a estanquidade da bainha e a resistência à abrasão, o polietileno é preferível ao PVC.

Como isolante nos cabos de baixa tensão destacam-se as seguintes propriedades: perdas dieléctricas muito baixas, elevada rigidez dieléctrica sem variação significativa com a temperatura, baixa absorção de água, baixa permeabilidade ao gás, bom comportamento mecânico a baixas temperaturas, razoável resistência química.

O baixo ponto de fusão, situado entre os 105°C e 115°C, limita a sua performance como material isolante em determinadas aplicações, sobretudo em casos em que possam ocorrer curto-circuitos.

POLIETILENO RETICULADO (XLPE)

Apesar das excelentes propriedades eléctricas do polietileno, a sua baixa temperatura de fusão limita a temperatura do cabo em serviço permanente a 70°C. No caso de sobreaquecimentos resultantes de sobrecargas ou curto-circuitos o polietileno pode fundir deixando o condutor exposto.

A adição de determinados agentes (peróxidos, silanos) ao polietileno de baixa densidade ou a aplicação de radiações ionizantes permitem, em determinadas condições reticular o material, resultando na criação de uma estrutura tridimensional com novas ligações entre as longas cadeias moleculares.

Com a reticulação melhora-se substancialmente a estabilidade das características mecânicas à variação da temperatura. As temperaturas máximas em regime permanente passam para 90°C e em curto circuito para 250°C, aumenta a resistência à abrasão, ao impacto, à fissuração, e aumenta a resistência química.

A reticulação também faz melhorar o comportamento a baixas temperaturas, reduzindo a contracção do material.

Pelo facto das propriedades eléctricas do polietileno reticulado não diferirem significativamente das do polietileno, mantêm-se as excelentes características enquanto isolante, o que permite reduzir as espessuras da isolação relativamente às usadas com o PVC. Este aspecto, aliado ao facto do polietileno possuir baixo teor de halogéneos, baixa opacidade e corrosividade dos fumos libertados na sua combustão, faz do polietileno reticulado o material de isolação mais usual nos cabos ignífugos de energia de baixa tensão.

Como propriedades destacam-se ainda a boa resistência ao calor e ao envelhecimento, boa flexibilidade, boa resistência ao ozono e mau comportamento aos óleos.

BORRACHAS

As borrachas são constituidas por macromoléculas produzidas por polimerização e apresentam um comportamento elástico à temperatura de utilização.

No início do fabrico de cabos de baixa tensão isolados a borracha, utilizava-se a borracha natural, obtida do látex retirado de certas árvores. Após fabricação a borracha era tratada por vulcanização.

Este material foi entretanto substituído por elastômeros sintéticos, sendo os mais utilizados como isolantes de cabos de baixa tensão: o EPM (etileno-propileno) e o EPDM (etileno propileno dieno) incluídos na família dos EPR. Estes materiais são reticuláveis através, por exemplo, da utilização de peróxidos orgânicos, que lhes conferem melhores características mecânicas e eléctricas.

Para certas aplicações especiais é utilizada a borracha de silicone, material que apresenta uma constituição molecular e características muito diferentes.

BORRACHAS DE ETILENO PROPILENO (EPR) – EPM E EPDM

São copolímeros* de baixa densidade, obtidos por polimerização do etileno e do propileno em presença de um catalizador que promove a reticulação, estabelecendo ligações duplas.

Possuem um excelente comportamento no que diz respeito ao envelhecimento térmico e à oxidação.

São utilizados sobretudo como materiais de isolamento pelas boas propriedades dieléctricas que apresentam. Como isolantes, já em estado reticulado, podem ser usados para temperaturas máximas nos condutores e em permanência de 80°C a 90°C. Têm propriedades semelhantes caracterizando-se por grande flexibilidade mesmo a baixas temperaturas, boa resistência à fluidez, pelo que podem ser utilizados até 250°C em caso de curto-circuito dos condutores, resistência excepcional às descargas e radiações ionizantes, baixa absorção de água, boa resistência ao envelhecimento térmico, ao ar e à luz, e elevada resistência à abrasão. Apresentam fraca resistência ao óleo e propriedades mecânicas médias (tensão de ruptura versus alongamento).

*Designação atribuída à macromolécula quando existe mais do que uma unidade básica na sua constituição.

BORRACHA DE SILICONE

A borracha de silicone distingue-se das restantes acima descritas, pois não é baseada em cadeias de carbono como a generalidade dos polímeros. As suas macromoléculas são constituídas por uma sucessão de átomos de silício e de oxigénio, o que lhe dá um excelente comportamento ao calor. As ligações laterais da cadeia são orgânicas à base de carbono, razão da flexibilidade do composto.

Esta borracha tem tido grande aplicabilidade como material de isolamento nos cabos resistentes ao fogo. Quando em contacto com a chama, arde, mas o dióxido de silício que se forma durante a combustão mantém-se agarrado ao condutor, criando uma manga isolante que assegura a continuidade da ligação eléctrica. Por outro lado, a sua combustão liberta poucos fumos e não é tóxica.

No seu processamento são incluídos aditivos juntamente com peróxidos orgânicos para promover a reticulação (vulcanização).

Como propriedades podem-se destacar: excelente comportamento a temperaturas elevadas, razoáveis propriedades eléctricas e independentes da temperatura de utilização (-80°C a +250°C), boa resistência ao efeito de coroa e bom comportamento eléctrico em ambiente húmido, excelente resistência a radiações ionizantes, baixa absorção de água, a flexibilidade é praticamente inalterável numa gama de temperaturas dos -50°C aos 180°C.

Os fios isolados com silicone podem ser usados continuamente a temperaturas de 180°C, e para curtos períodos de tempo até 250°C.

POLICLOROPRENO (PCP) – É um polímero de clorobutadieno, também conhecido pela designação de neopreno, obtido por polimerização do cloropreno proveniente da acção do cloro. Tem muito bom comportamento ao frio, com tratamento adequado resiste bem ao ozono, à radiação UV e não propaga a chama. Possui fracas propriedades como dieléctrico, pelo que é usado apenas como material de bainhas. Se vulcanizado, apresenta excelentes propriedades mecânicas.

É utilizado em bainhas de cabos flexíveis para aplicações móveis em minas e na siderurgia.

POLIETILENO CLOROSULFUNADO (CSM) (HYPALON –MARCA REGISTADA DA DUPONT)

É um material com o mesmo tipo de aplicação e propriedades do policloropreno, tendo melhor resistência ao calor e bom comportamento aos óleos.

BORRACHA NITRILO ACRÍLICA VULCANIZADA

É um copolímero de butadieno e de nitrilo-acrílico e é habitualmente misturado com PVC.

Apresenta uma elevada flexibilidade juntamente com boa resistência à abrasão, ao esmagamento e ao impacto pelo que é muito usada como bainha de cabos flexíveis em aplicações móveis. Apresenta muito boa resistência aos óleos sendo por isso usada como bainha de cabos que tenham que estar imersos em óleo. Tem boa resistência ao envelhecimento e às intempéries, ao calor e às baixas temperaturas e não propaga a chama.

PVC ACRÍLICO

É um composto resultante da mistura de PVC com borracha nitrílica. As suas propriedades são muito próximas das do policloropreno com um melhor comportamento aos hidrocarbonetos. Apresenta boas propriedades mecânicas, bom comportamento às intempéries, bom comportamento ao ozono, muito boa resistência aos óleos, e não propaga a chama. Tem contudo más propriedades eléctricas, pelo que só é usado como material de bainha.

ISOLAMENTO MINERAL

O isolamento mineral tem aplicação em cabos especiais resistentes ao fogo, habitualmente utilizados em locais com risco de explosão, em locais com elevado risco de incêndio e onde as temperaturas podem subir até valores de 1000°C.

Desde que seja mantido seco, um material mineral como, por exemplo, o óxido de magnésio tem excelentes propriedades eléctricas. Como absorve água do ar, o isolamento tem que ser envolvido por uma bainha de cobre completamente hermética. O cabo assim formado apresenta grande resistência ao fogo e opera até temperaturas que podem chegar a algumas centenas de graus centígrados. Como é inorgânico não envelhece. Os cabos de isolamento mineral apresentam um baixo diâmetro quando comparados com os convencionais, têm muito boa resistência mecânica, são resistentes à radiação e à penetração de água. Nos casos em que haja perigo de corrosão da bainha de cobre esta pode ser revestida por uma bainha plástica que, no entanto, faz reduzir a temperatura máxima de serviço do cabo.

POLIAMIDA E POLIURETANOS

Estes materiais são usados como revestimento externo (bainhas) em aplicações onde se exige elevada resistência mecânica, aliada a boa resistência química, nomeadamente, resistência ao benzeno, hidrocarbonetos aromáticos, óleos, esters, acetonas e hidrocarbonetos clorados.

As poliamidas, com determinadas formulações, são usadas como protecção anti-térmitas e antioedores. Habitualmente são aplicadas numa camada de baixa espessura, sobre uma bainha de um outro material.

As bainhas de poliamida encontram grande aplicação nos cabos flexíveis usados nas instalações de extracção de petróleo e na indústria aeronáutica.

O poliuretano é um material termoplástico muito utilizado em aplicações onde se exige grande resistência mecânica, nomeadamente à abrasão e ao impacto, e elevada flexibilidade. Também tem bom comportamento a baixas temperaturas.

MATERIAIS IGNÍFUGOS

Têm tido grande aplicação na baixa tensão, sendo cada vez mais utilizados à medida que as exigências em matéria de segurança das instalações e pessoas têm aumentado. O termo ignífugo é correntemente empregue para designar, neste caso, compostos com baixo teor de halogéneos, cujos fumos apresentam baixa opacidade, baixa toxicidade e baixa corrosividade, e que não propagam a chama.

Embora existam materiais com este tipo de comportamento para a isolamento dos condutores, eles são habitualmente usados em bainhas, optando-se por manter, na generalidade dos casos, a isolamento em polietileno reticulado, já que se trata de um material isento de halogéneos, apresentando superior desempenho eléctrico enquanto isolante e preço bastante inferior.

Estes materiais são habitualmente compostos constituídos por um copolímero de etileno vinilo acetato (EVA), polietileno e cargas (trióxido de chumbo e dióxido de magnésio, por exemplo) que permitem melhorar as suas características ignífugas.

O EVA é um copolímero que pode ser usado como termoplástico, neste caso produzido por copolimerização com o acetato de vinilo numa percentagem inferior ou igual a 30%. Também pode ser reticulado através da adição de peróxidos orgânicos e por radiação elevada de energia, adquirindo neste caso as propriedades de um elastómero.

As propriedades de um copolímero EVA são sobretudo determinadas pela percentagem de vinilo e de acetato.

Os elastómeros EVA são caracterizados por um bom comportamento térmico permitindo temperaturas no condutor até 120°C, possuem excelente resistência ao envelhecimento em ar quente ou vapor quente e boa resistência química.

Como propriedades principais dos compostos EVA podem-se destacar: resistência à temperatura, ao ozono, ao oxigénio e à intempérie. Apresentam propriedades eléctricas relativamente pobres, condicionando apenas o seu uso em baixa tensão.

PROCESSO DE COMBUSTÃO

A combustão de um polímero pode ser analisada em várias fases: aquecimento, decomposição, ignição, combustão e propagação.

- **AQUECIMENTO** – A subida da temperatura depende de algumas características físicas do polímero, tais como: calor específico, condutividade térmica, temperatura de fusão e vaporização.
- **DECOMPOSIÇÃO** – A temperatura de decomposição e os produtos envolvidos nesta fase têm uma importância fundamental no desenrolar do fogo. Podem aparecer os seguintes produtos: gases combustíveis como o monóxido de carbono, metano, etileno, hidrogénio; gases não combustíveis como o dióxido de carbono, ácido clorídrico, ácido brómico; sólidos como as partículas de fumo.
- **IGNIÇÃO** – A combustão dá-se quando os produtos combustíveis inflamam na presença de oxigénio ou de um agente oxidante. As características do produto que afectam esta fase são: a temperatura de inflamação, ou seja, a temperatura a partir da qual os gases podem ser inflamados por uma pequena faísca ou chama, a temperatura de auto-inflamação, aquela a partir da qual os gases se podem inflamar espontaneamente; a concentração limite de oxigénio; a quantidade mínima de oxigénio que é necessária para inflamar os gases e manter a combustão. Este parâmetro é muito usado na caracterização de materiais ignífugos, juntamente com a índice de temperatura. (1)
- **COMBUSTÃO** – A libertação de calor faz aumentar a temperatura dos gases que se vão libertando.
- **PROPAGAÇÃO** – Ocorre quando a temperatura da zona do foco da queima decresce, fruto do calor libertado, que contudo é suficiente para iniciar a combustão na zona imediatamente adjacente.

(1) Índice de oxigénio (definição segundo a ASTM) – concentração mínima de oxigénio, expressa em percentagem de volume numa mistura de oxigénio/nitrogénio que suporta a combustão de um material inicialmente à temperatura ambiente nas condições definidas pelo método de teste definido na ASTM D 2863-77.

Atendendo a que o ar contém cerca de 21% de oxigénio, significa pois que quanto mais retardante ao fogo for o material, maior será o seu índice de oxigénio. Habitualmente considera-se que um material é autoextinguível se possuir um índice de oxigénio superior a 26%.

Os aditivos que se incorporam no polímero para lhe conferir a boa resistência à chama podem ser divididos em reactivos e não reactivos. Os reactivos são introduzidos quimicamente na estrutura do polímero, sendo adicionados durante o processo de polimerização e são mais usados nos materiais reticulados.

Os não reactivos são apenas misturados, não reagem quimicamente, podem contudo afectar algumas características do composto, nomeadamente as características mecânicas, que habitualmente se degradam, verificando-se a redução da tensão de ruptura e do alongamento. Os não reactivos são usados com os termoplásticos e constituem uma solução mais económica do que a anterior, razão pela qual fazem parte da grande maioria de compostos ignífugos usados na baixa tensão.

Considerando as várias fases do processo de combustão de um polímero, estabelece-se um conjunto de requisitos para os aditivos incorporados; manterem-se estáveis durante o processamento do polímero (extrusão), manterem-se activos para além das temperaturas de decomposição do polímero, não degradarem, tanto quanto possível, as propriedades do polímero, não promoverem a formação de fumos e produtos tóxicos durante a combustão do polímero, não produzirem eles próprios produtos tóxicos, serem económicos e amigáveis.

MECANISMO DE NÃO PROPAGAÇÃO DA CHAMA NOS MATERIAIS TERMOPLÁSTICOS

Para a generalidade dos materiais disponíveis, baseados em compostos EVA, os aditivos mais comuns são inorgânicos: dióxido de magnésio e hidróxido de alumínio (alumina tri-hidratada).

Estes aditivos actuam na primeira fase da combustão do polímero, ou seja, fazem subir a temperatura de decomposição do material. A combustão destes materiais desencadeia uma reacção altamente endotérmica e inibe a produção de gases, reduzindo a taxa de pirólise. Por outro lado, a decomposição destes aditivos faz libertar uma percentagem grande de vapor de água (30% e 20% do seu peso), o que faz arrefecer o polímero e diminuir o processo de queima. Por outro lado, a alumina e o óxido de magnésio libertados ficam depositados nas zonas de queima formando uma camada protectora resistente à chama.



Nos casos em que adicionalmente se exija muita boa resistência química da bainha são habitualmente utilizados os materiais ignífugos reticuláveis.

Nas [TABELAS 1.8](#) e [1.9](#) apresentam-se algumas características mecânicas e físicas dos materiais mais comuns utilizados nos cabos de baixa tensão.

TABELA 1.8 – PROPRIEDADES DE ALGUNS DOS MATERIAIS DE ISOLAÇÃO MAIS COMUNS

Tipo	PVC TI2 HD 21	PVC TI1 HD 21	ZI TI17 EN 50363	EPR EI4 HD 22	PVC A CEI 60502-1	XLPE CEI 60502-1	EPM-EFDM CEI 60502-1	Silicone
Exemplos de aplicações	H05VV-F	05VV-R, H07V-K	H07Z1-U	H07RN-F	VV, LSVAV	XV, XAV	FBB	SZ1(frs,zh)
Máxima temperatura no condutor em regime permanente (°C)	70	70	70	60	70	90	90	
Máxima temperatura no condutor em regime de curto circuito ($t \leq 5s$) (°C)	160	160	(160)	(200)	140-160*	250	250	
Densidade 20°C (gr/cm ³)	(1,3 a 1,6)	(1,3 a 1,6)	(1,3 a 1,5)		1,3 a 1,6	0,923	1,3 a 1,5	1,27 a 1,37
Tensão mínima de ruptura (N/mm ²)	10	12,5	10	5,0	12,5	12,5	4,2	5,5 a 8,5
Alongamento mínimo à ruptura (%)	150	125	125	200	150	200	200	300 a 350
Envelhecimento acelerado em estufa	80°C/168h	80°C/168h	80°C/168h	100°C/168h	100°C/168h	135°C/168h	135°C/168h	
Tensão mínima de ruptura (N/mm ²)	10	12,5	10	4,2	12,5			
Variação máxima	±20	±20	±20	±25	±25	±25	±30	
Alongamento mínimo à ruptura (%)	150	125	125	200	150			
Variação máxima	±20	±20	±20	±25	±25	±25	±30	
Permitividade relativa	4-8				4-8	2,5-4,5	2,7-3,5	
Constante de resistência de isolação à temperatura máxima de funcionamento em regime permanente (MΩ.km)					0,037	3,67	3,67	3,10
Resistividade volumétrica à temperatura máxima de funcionamento em regime permanente (Ω.cm)					10 ¹⁰	10 ¹²	10 ¹²	10 ¹⁵

0 – Valores não normalizados, mas correntes

* 140 se S > 300mm²

TABELA 1.9 – PROPRIEDADES DE ALGUNS DOS MATERIAIS DE BAINHA MAIS COMUNS

Tipo	PVC TM2 HD 21	PVC TM1 HD 21	PCP EM2 HD 22	TMPU EN 50363	PVC ST1 CEI 60502-1	PVC ST2(1) CEI 60502-1	Z1 ST8 CEI 60502-1	PE ST3 CEI 60502-1	PP CSM SE1 CEI 60502-1
Exemplos de aplicações	H05VV-F	05VV-R, H07V-K	H07RN-F	H07BQ-F	W; LSVAV	XV, XAV	XZ1 (frt. zh)		
Máxima temperatura no condutor em regime permanente (°C)	70	70		80	80	90	90	80	85
Densidade 20°C (gr/cm ³)	(1,3 a 1,6)	(1,3 a 1,6)		(1,0 a 1,2)	(1,3 a 1,6)	1,3 a 1,5	1,4- 1,6	0,9	
Tensão mínima de ruptura (N/mm ²)	10	12,5	10	25	12,5	12,5	9	10	10
Alongamento mínimo à ruptura (%)	150	125	300	300	150	150	125	300	300
Envelhecimento acelerado em estufa	80°C/168h	80°C/168h	70°C/240h	110°C/168h	100°C/168h	100°C/168h	100°C/168h	100°C/240h	100°C/168h
Tensão mínima de ruptura (N/mm ²)	10,0	12,5			12,5	12,5	9		
Varição máxima (%)	±20	±20	-15%	±30	±25	±25	±40		±30
Alongamento mínimo à ruptura (%)	150	125	250	100	150	150	100	300	250
Varição máxima (%)	±20	±20	-25%	±30	±25	±25	±40		±40

*Para utilização exterior a baixa temperatura

(1) - O PVC tipo ST2 tem relativamente ao tipo ST1 requisitos adicionais em termos de perda de massa, e o ensaio de pressão a temperatura elevada é realizado a 90°C ao contrário do ST1 realizado a 80°C.

1.2.3 CONDUTORES CONCÊNTRICOS

Os condutores concêntricos são habitualmente compostos por fios de cobre colocados em torno do conjunto dos condutores isolados, directamente ou sobre um revestimento interno.

São usados como condutor de protecção, tanto em sistemas TN e TT, e ao mesmo tempo garantem a protecção contra os contactos indirectos. Este tipo de solução construtiva não é usual nos cabos utilizados em Portugal.

As secções devem cumprir com os valores mínimos especificados nas R.T.I.E.B.T (Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão – Decreto Lei nº 226/2005 e Portaria nº 949-A/2006).

1.2.4 BLINDAGENS

Estes constituintes dos cabos eléctricos, por vezes referidos como ecrans metálicos, são colocados individualmente sobre os condutores ou sobre o seu conjunto, tendo em vista:

- O escoamento de correntes de defeito,
- A protecção contra contactos indirectos,
- A redução das interferências.

A utilização da blindagem para escoar as correntes de defeito tem sobretudo aplicação nos cabos para tensões superiores a 0,6/1kV, uma vez que para tensões inferiores elas não têm grande significado. A protecção contra os contactos indirectos é resolvida pela ligação da blindagem à terra, num ou nos dois extremos da ligação. A redução das interferências na baixa tensão tem interesse prático para os circuitos de controlo, comando e sinalização.

Como é sabido as interferências electromagnéticas (EMI) são responsáveis por muitas falhas e pelo mau funcionamento de inúmeros equipamentos electrónicos. As interferências electromagnéticas podem ter várias causas, sendo as mais comuns: descargas atmosféricas, controladores tiristors ou triac, motores, transmissores de rádio e TV, telemóveis, linhas monofásicas de média tensão, linhas de alta tensão, etc....

TIPOS DE BLINDAGEM

A blindagem de cabos em baixa tensão é habitualmente utilizada nos cabos multicondutores para circuitos de controlo e sinalização, e é aplicada sobre o conjunto dos condutores, pelo que se designa de colectiva.

Em cabos de pares, ternos ou quadras é possível encontrar blindagens aplicadas individualmente sobre cada um destes agrupamentos, e simultaneamente sobre o conjunto. Isto acontece quando se pretende reduzir a influência entre condutores do mesmo cabo.

As blindagens são constituídas habitualmente por materiais condutores não magnéticos, como o alumínio e o cobre, nu ou revestido por uma camada metálica, habitualmente estanho. Em casos particulares podem também ser usados materiais magnéticos, sendo o aço o mais comum.

A utilização destes materiais é realizada por aplicação de uma ou várias fitas: em hélice, com sobreposição, ao longo com sobreposição ou sob a forma de fios dispostos helicoidalmente, ou ainda por aplicação de um grupo de fios sob a forma de trança.

A eliminação das interferências resultantes de acoplamentos capacitivos e de baixa frequência faz-se, habitualmente, com o uso de uma blindagem metálica fina constituída por fitas de alumínio ou cobre, com espessuras inferiores a 0,1 mm. Nestes casos, é frequente aplicar um ou mais fios condutores, ao longo, por baixo da fita, de modo a garantir a continuidade eléctrica da mesma, aspecto que se torna importante assegurar quando as fitas são finas e podem sofrer algum dano mecânico durante o processo de fabrico ou já na instalação.

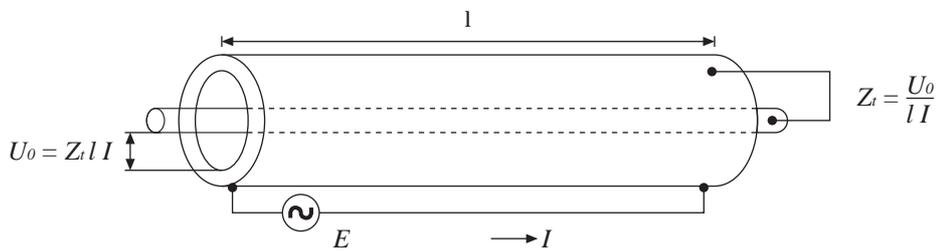
A redução das interferências que resultam de acoplamentos indutivos depende muito do material da blindagem, especialmente da sua condutividade e da sua espessura, e requer um dimensionamento rigoroso. É possível avaliar a eficiência da blindagem nesta situação, por recurso a dois parâmetros: impedância de transferência e factor reductor.

IMPEDÂNCIA DE TRANSFERÊNCIA

Este parâmetro caracteriza as correntes parasitas, essencialmente de alta frequência, que podem circular nas terras e passar para as blindagens dos cabos de comunicação, aquando das comutações, ligações ou defeitos na rede de energia.

Define-se impedância de transferência Z_t como o quociente entre a tensão U_0 que aparece por unidade de comprimento entre o condutor ou o conjunto dos condutores e a blindagem, e a corrente que circula na blindagem.

FIG. 1.5 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DA IMPEDÂNCIA DE TRANSFERÊNCIA



O cálculo da impedância de transferência é relativamente complexo. No entanto, para um blindagem constituída por uma fita colocada ao longo, situação próxima de um cilindro oco, o valor pode ser determinado por aproximação pela expressão:

(1.6)

$$\left| \frac{Z_t}{R_o} \right| = \frac{x}{\sqrt{chx - \cos x}} \quad \text{com } x = \frac{2e}{\delta}$$

Em que:

Z_t (Ω/km) – Impedância de transferência

R_o (Ω/km) – Resistência da blindagem medida em corrente contínua, a 20°C

e (mm) – Espessura da blindagem

$$\delta \text{ (mm) – Profundidade de penetração } \quad \delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

σ (S/m) – Condutividade da blindagem ($5,8 \times 10^7$ S/m para o cobre)

$\omega = 2 \pi f$ – Frequência angular (Hz)

μ = Permeabilidade ($\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$ H/m)

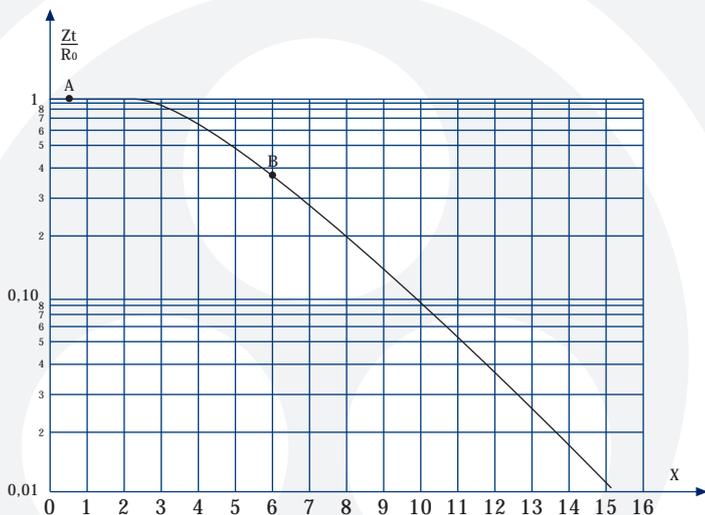
Se considerarmos a expressão para o cálculo da profundidade de penetração verificamos que ela vai diminuindo com o aumento da frequência. Calculando o seu valor, por exemplo, para o cobre, temos:

$$(1.7) \quad \delta = \frac{0,066}{\sqrt{f}} = \begin{cases} 9 \text{ mm} & \text{para } f = 50 \text{ Hz} \\ 2 \text{ mm} & \text{para } f = 1 \text{ kHz} \\ 0,2 \text{ mm} & \text{para } f = 100 \text{ kHz} \end{cases}$$

Assim, para proteger um cabo de um sinal de uma determinada frequência, é necessário dimensionar a blindagem com uma espessura superior à profundidade de penetração à frequência em jogo. Verifica-se que para frequências elevadas uma camada condutora é suficiente para proteger convenientemente os condutores do cabo, ao contrário do que acontece para frequências mais baixas que originam profundidades de penetração muito maiores e que inviabilizam a construção da blindagem apenas com uma camada condutora relativamente fina.

O circuito formado pela blindagem comporta-se como um filtro passa baixo atenuando a amplitude dos sinais de alta frequência. Como se ilustra na figura, para um determinado tipo de blindagem a impedância de transferência e módulo de Z_t/R_o decrescem para menos de metade para uma frequência de 100MHz (ponto B), relativamente a uma frequência de 100kHz (ponto A).

FIG. 1.6 – Curva típica da impedância de transferência de um cabo.



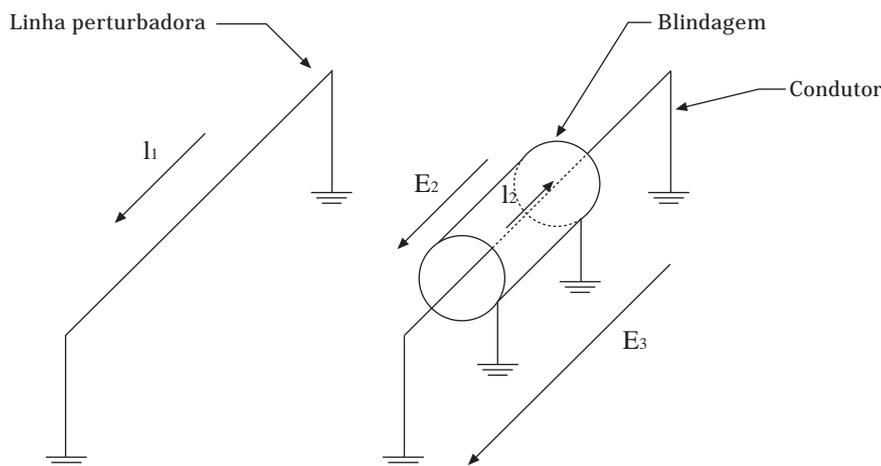
As blindagens mais usuais nestes casos são de cobre, sob a forma de uma fita aplicada ao longo e corrugada, para não comprometer a manuseabilidade do cabo, ou várias fitas aplicadas helicoidalmente, como é o caso dos cabos do tipo VHV (blindagem realizada com fitas de cobre aplicadas helicoidalmente) instalados em subestações da rede de produção e transporte da EDP, nas instalações fixas de sinalização, comando e medida, e para as instalações fixas de alimentação de serviços auxiliares. Para estes cabos a impedância de transferência (Z_t) medida numa amostra de cabo de 10 m, entre 1 kHz e 1 MHz, tem de ser inferior a 4Ω .

FACTOR REDUTOR

O factor redutor caracteriza a eficiência da blindagem em cabos de telecomunicações, controlo ou sinalização, quando estes são instalados nas proximidades de linhas de energia, sobretudo de alta tensão e quando há comprimentos consideráveis de paralelismo com as mesmas, situação onde as perturbações se tornam significativas.

Um dos casos típicos é o dos cabos de sinalização utilizados nas linhas férreas, onde o traçado dos cabos corre ao longo da linha, pelo que sofrem forte influência da catenária (linha de média tensão que alimenta o comboio).

FIG. 1.7 – ILUSTRAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA LINHA DE ENERGIA SOBRE O CONDUTOR E BLINDAGEM



O princípio de funcionamento da blindagem pode ser explicado pela FIG. 1.7 que mostra uma linha a influenciar um cabo colocado na sua vizinhança.

Sobre o condutor do cabo actua uma *f.e.m.* E_3 decorrente da influência da linha de energia, resultante do fluxo gerado pela corrente I_1 que nela circula. A blindagem ligada à terra cria um circuito fechado que sendo atravessado pelo fluxo gerado pela linha de energia, gera por sua vez um fluxo de sentido contrário ao que lhe deu origem. Assim, o condutor vê-se influenciado por dois fluxos de sentidos contrários, pelo que a *f.e.m.* resultante no condutor é então inferior à que existiria no condutor dum cabo sem blindagem. A blindagem vem assim atenuar o efeito das interferências.

Quando a corrente I_1 circula, uma *f.e.m.* é induzida na blindagem, e outra no condutor, E_2 e E_3 respectivamente, dadas por:

(1.8)

$$\underline{E}_2 = j \omega M_{12} \underline{I}_1 l$$

(1.9)

$$\underline{E}_3 = j \omega M_{13} \underline{I}_1 l$$

Fechando o circuito 2 (blindagem), a corrente I_2 circula, sendo a *f.e.m.* resultante no condutor E_3' dada por:

(1.10)

$$\underline{E}_3' = j \omega M_{13} \underline{I}_1 l - j \omega M_{23} \underline{I}_2 l$$

$$(1.11) \quad \text{com: } \underline{I}_2 = \frac{\underline{E}_2}{\underline{Z}_2} = \frac{j \omega M_{12} \underline{I}_1 l}{\underline{Z}_2}$$

Em que:

M_{12} - Coeficiente de indução mútua linha/blindagem

M_{13} - Coeficiente de indução mútua linha/condutor

M_{23} - Coeficiente de indução mútua blindagem/condutor

Z_2 - Impedância do circuito blindagem/terra

l - Comprimento da instalação

O factor redutor K_r é definido por:

(1.12)

$$\underline{K_r} = \frac{E_3'}{E_3} = \frac{\text{f.e.m. longitudinal induzida sobre um condutor protegido}}{\text{f.e.m. longitudinal induzida sobre um condutor não protegido}}$$

Substituindo 1.11 (I_2) em 1.10 (E_3') e depois 1.10 e 1.9 em 1.12 vem:

(1.13)

$$\underline{K_r} = 1 - j \omega \frac{M_{23} M_{12}}{M_{13} Z_2}$$

Admitindo que a proximidade dos circuitos 2 e 3 é tal que estão submetidos ao mesmo fluxo, considera-se que:

$M_{12} = M_{13}$ e $M_{23} = L_2 = L_3$, sendo L_2 e L_3 as indutâncias próprias dos circuitos 2 e 3 respectivamente, e R_2 a resistência do circuito 2

Substituindo em 1.13, tem-se:

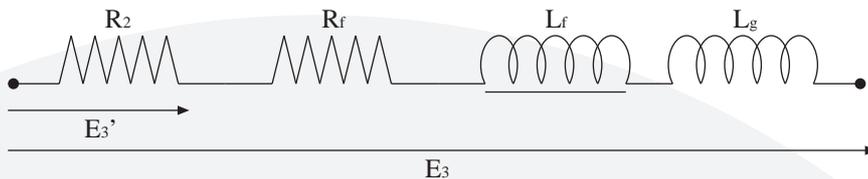
(1.14)

$$\underline{K_r} = \frac{R_2}{R_2 + j \omega L_2}$$

Ao contrário do caso anterior (da impedância de transferência), onde a blindagem é constituída para atenuar as altas frequências, aqui a blindagem é constituída para reduzir a tensão induzida pela linha de energia para a frequência da rede (habitualmente 50 Hz).

Se analisarmos o valor da profundidade de penetração para uma blindagem em cobre e para uma frequência de 50 Hz verificamos que o seu valor é elevado (9 mm), significando que teríamos que ter uma blindagem com uma secção transversal bastante alta, ou um material de muito baixa resistividade, o que por um lado se torna impraticável por questões de produção, e proibitivo em termos de custo. Por esta razão, à camada condutora é adicionada uma camada ferromagnética.

Se considerarmos uma blindagem composta por uma camada condutora e camada ferromagnética, podemos representá-la através do seguinte esquema:



O factor redutor determina-se através da seguinte expressão:

(1.15)

$$\underline{K_r} = \frac{R_2}{\sqrt{(R_2 + R_f)^2 + \omega^2 (L_g + L_f)^2}}$$

Em que:

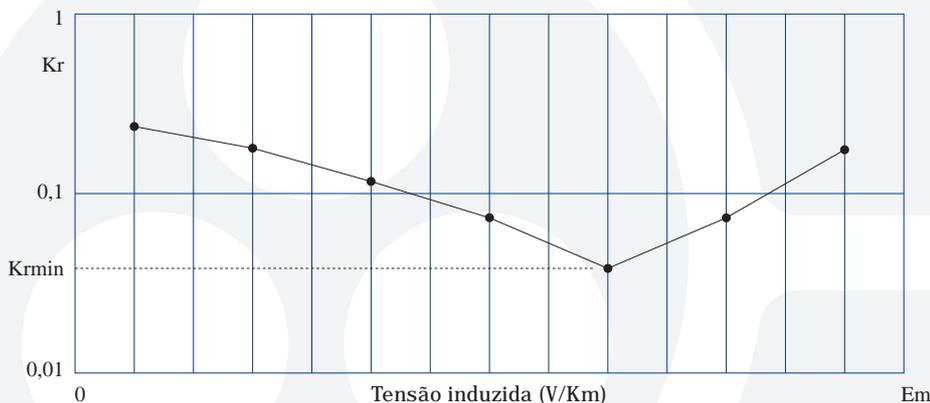
R_2 (Ω/km) - Resistência ôhmica do circuito blindagem terra

R_f (Ω/km) - Resistência responsável pelas perdas magnéticas

L_g (mH/km) - Indutância do circuito blindagem terra (O valor prático habitualmente considerado para L_g é de 2 mH/km).

L_f (mH/km) - Indutância própria da camada ferromagnética; depende das características do circuito magnético (permeabilidade do material e secção recta transversal)

FIG. 1.8 - CURVA DO FACTOR REDUTOR PARA UM TIPO DE CABO



Para um determinado cabo é possível determinar o valor do factor redutor para um conjunto de tensões induzidas. Na FIG. 1.8 apresenta-se a curva do factor redutor para um cabo de sinalização das linhas férreas.

No caso de uma blindagem apenas resistiva a curva torna-se uma recta. A introdução da camada ferromagnética faz variar o factor redutor em função da f.e.m. induzida na blindagem e tem o seu valor mínimo no ponto de permeabilidade magnética máxima da camada ferromagnética. O dimensionamento da blindagem deve ser realizado tendo em conta a gama de tensões induzidas em presença, escolhendo-se uma armadura e um tipo de aço que possua uma curva de permeabilidade magnética com o máximo nessa gama de tensões.

A instalação tem um papel preponderante no desempenho das blindagens e deve ser cuidada de modo a otimizar o funcionamento destes cabos. Assim, há alguns factores a ter em conta durante a instalação, nomeadamente:

- Resistências de contacto nas ligações da blindagem
- Ligação da blindagem à terra, colocação de um condutor terra de secção elevada
- Resistividade do solo

Em muitos casos a utilização de cabos, mesmo com blindagens adequadas, pode não ser suficiente para se reduzir as interferências para valores inferiores aos máximos estipulados. Nestes casos outros métodos podem ser usados adicionalmente, nomeadamente através da introdução de condutores de compensação.

1.2.5 ARMADURAS

As armaduras têm por finalidade assegurar a protecção mecânica do cabo aos esforços transversais e longitudinais, tais como: esmagamento, impacto, tracção e acção de roedores.

São constituídas habitualmente em aço macio, galvanizado ou não, sob a forma de fitas ou fios, aplicados helicoidalmente, ou barras de aço, embora menos comuns.

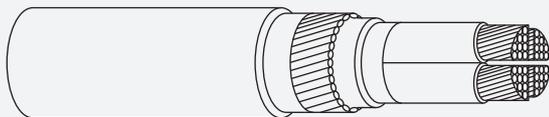
As armaduras poderão operar também como blindagens desde que obedeçam a requisitos específicos de natureza eléctrica, como foi referido na secção anterior. Quando se torna necessário melhorar o comportamento eléctrico poderão ser incorporados fios de cobre juntamente com os fios de aço.

Para cabos unipolares em circuitos de corrente alternada é aconselhável a utilização de armaduras não magnéticas, de cobre ou alumínio, de modo a minimizar as perdas magnéticas.

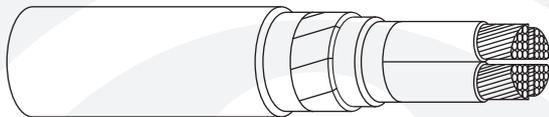
Em Portugal, a armadura de fitas de aço é a mais utilizada em cabos multicondutores e a de fitas de alumínio no caso dos monocondutores. É constituída por duas fitas em hélice aberta de forma que a segunda fita é aplicada sobre a primeira, havendo uma área de sobreposição de 50% da largura da fita.

FIG. 1.9 – TIPOS DE ARMADURA

(a) - Armadura de fios



(b) - Armadura de barras



(c) - Armadura de fitas



TABELA 1.10 – ARMADURA DE FITAS

Diâmetro aproximado sob a armadura	Espessura de cada fita (mm)	
	Aço	Alumínio
Até 30 mm	0,2	0,5
De 30 a 70 mm	0,5	0,5
A partir de 70 mm	0,8	0,8

TABELA 1.11 – ARMADURA DE FIOS

Diâmetro aproximado sob a armadura	Diâmetro de cada fio (mm)
	Aço ou Alumínio
Até 10 mm	0,8
De 10 a 15 mm	1,25
De 15 a 25 mm	1,6
De 25 a 35 mm	2,0
De 35 a 60 mm	2,5
A partir de 60 mm	3,15

1.2.6 BAINHAS

Nesta secção far-se-á referência aos vários tipos de bainhas, ou seja, revestimentos extrudidos não metálicos empregues na generalidade das construções dos cabos de baixa tensão.

BAINHAS EXTERIORES

As bainhas exteriores protegem o cabo das influências externas, pelo que a sua natureza é essencialmente determinada pelas condições da instalação onde o cabo vai ser aplicado. Tem que ser compatível com os restantes materiais, em particular com o material da isolamento, devendo ser adequada às temperaturas de funcionamento do condutor.

Os materiais mais comuns e a que já se fez referência na secção 1.2.2 são: o policloreto de vinilo, o polietileno, o policloropreno e os compostos ignífugos. Para aplicações específicas, utilizam-se também a poliamida, o poliuretano e o polietileno clorosulfunado.

BAINHAS INTERIORES E DE REGULARIZAÇÃO (E ENCHIMENTOS)

Além das bainhas exteriores, os cabos podem possuir outro tipo de bainhas, das quais se destacam as bainhas de regularização e enchimento cuja principal função é a de promover a regularização geométrica dos cabos, e as bainhas interiores, designação atribuída quando a bainha serve de cama a uma armadura, ou quando é usada como separação nos cabos em que exista uma blindagem e uma armadura de diferentes materiais. A bainha interior pode também servir de bainha de regularização.

Em alternativa à bainha de regularização, ou adicionalmente, e com o propósito de tornar o cabo circular, tanto quanto possível, são utilizados elementos de enchimento, em material extrudido ou em fibras (tipo ráfia), que são cableados com os condutores isolados, dispostos de forma a ocuparem os espaços vazios entre os condutores.

Na generalidade dos casos não há requisitos mecânicos associados a estas bainhas. Devem contudo ser compatíveis com os restantes materiais e suportarem as temperaturas de operação dos cabos. Este requisito também é aplicável aos elementos de enchimento.

1.2.7 ENFITAGENS

Além dos elementos tratados nos pontos anteriores, na construção dos cabos são muitas vezes utilizadas fitas com propósitos diferentes dos que já se abordaram (nas armaduras e nas blindagens). Elas podem ter várias funções: aperto dos condutores isolados, caso onde normalmente se utilizam fitas de polietileno, polipropileno ou poliéster; fitas de mica aplicadas sobre os condutores para conferir resistência ao fogo, fitas de fibra de vidro aplicadas na construção de cabos especiais para melhorar resistência aos roedores ou para aumentar a resistência à não propagação do fogo, etc....

1.2.8 AGRUPAMENTO DOS CONDUTORES

Nos cabos multicondutores, os condutores isolados são agrupados por torção. Esta torção, a que correntemente se dá o nome de cableamento, é realizada de forma concêntrica, helicoidal, caso em que os condutores são torcidos todos para o mesmo lado, ou em SZ, caso em que o sentido de torção alterna (sentido direito - Z e sentido esquerdo - S) e se repete num determinado comprimento.

Em alguns cabos de controlo e medida os condutores são agrupados: em forma de par, caso em que são torcidos dois a dois, em terno, caso em que são torcidos três a três, ou em quadra, normalmente em pares combinados (torção de dois pares).

Para um número de condutores, ou agrupamentos (pares, ternos ou quadras) superior a 6, o cableamento faz-se em várias camadas concêntricas.

2. NORMALIZAÇÃO

A construção e desempenho dos cabos de baixa tensão segue um conjunto de normas e regras técnicas que têm como objectivos principais; promover a segurança e qualidade deste tipo de equipamento, uniformizar critérios de modo a permitir o seu uso generalizado, e eliminar entraves técnicos à sua comercialização num mercado mais alargado.

No âmbito dos cabos de baixa tensão destacam-se as seguintes normas ou decretos:

Directiva de Baixa Tensão n.º 73/23/CEE, documento onde se definem as exigências essenciais de segurança a observar em todo o material eléctrico destinado a ser utilizado sob uma tensão nominal compreendida entre 50 V e 1000 V para corrente alternada, e entre 75 V e 1500 V para corrente contínua e no qual deve ser aposta a marcação CE em conformidade com a Directiva 93/68/CEE.

Assim, um fabricante que apõe a marcação CE num cabo, ou na embalagem quando a anterior prática não for possível, deverá respeitar as condições gerais impostas, ou seja, se existirem características essenciais que o utilizador precise conhecer, relativas ao uso seguro, estas deverão acompanhar obrigatoriamente o produto, afixadas nele próprio, quando possível, ou em documento que o acompanhe. O produto deve possuir a marca de fabrico ou comercial que deve ser aposta directamente nele de forma visível ou, não sendo exequível, na embalagem.

O projecto e fabrico dos cabos deverão garantir, desde que se verifiquem as boas práticas de instalação e manutenção apropriada, uma utilização segura e um comportamento adequado aos fins a que se destinam.

NORMAS DE CONSTRUÇÃO E ENSAIO DOS CABOS

Estas normas definem os requisitos técnicos que os cabos devem respeitar; especificam os tipos de materiais, as dimensões e os testes para avaliação do cumprimento dos requisitos estabelecidos.

Dentro do vasto conjunto de normas existentes, destacam-se, pela sua importância, e hierarquicamente, as:

Normas Europeias (EN) - Estas normas são elaboradas pelo CENELEC “Comité Europeu para a Normalização Electrotécnica” de que Portugal é membro, juntamente com mais 19 países.

Estas normas unificam os critérios dos países membros e não admitem outro tipo de normalização nacional que esteja em desacordo com as regras por elas estabelecidas.

Normas harmonizadas (HD) - Estas normas são elaboradas pelo CENELEC e diferem das anteriores, pois resultam da compilação de critérios diferenciados dos vários países, quando não é possível estabelecer um consenso. É, por exemplo, o caso do compêndio HD 603 “Distribution cables of rated voltage 0,6/1kV” onde são compilados os vários tipos de cabos para distribuição de baixa tensão, utilizados em cada país membro. Este tipo de norma é constituído por uma parte geral onde são estabelecidos os critérios comuns, os requisitos essenciais, seguida pelas partes correspondentes a cada país, que pormenorizam a constituição do cabo bem como os ensaios aplicáveis.

Toda a política do CENELEC tem sido estabelecida no sentido da uniformização de critérios e da harmonização global, pretendendo-se, tanto quanto possível, transformar as HD em EN, o que significa, uniformizar as construções dos cabos, os requisitos e procedimentos de ensaio.

Chamam-se cabos harmonizados aqueles que respeitam os critérios harmonizados das normas do CENELEC - HD. Na construção da designação destes cabos utiliza-se a sigla “H” de modo a identificá-los.

Normas portuguesas (NP) - São normas elaboradas em regra pelas comissões técnicas de normalização nacionais, sendo a CTE20 a comissão electrotécnica responsável pela normalização dos cabos de energia. De um modo geral, estas normas correspondem a traduções das normas HD, EN ou, então, normalizam a construção de cabos e ou ensaios que não estão descritos nas normas anteriormente referidas. Podem também normalizar procedimentos de instalação e utilização.

Normas do Comité Electrotécnico Internacional (CEI) - Estas normas são habitualmente mais genéricas do que os HD e EN. O CENELEC tem adoptado muitas normas CEI, prática que tem vindo a ser cada vez mais usada e tem como vantagens, a uniformização e racionalização de critérios, simplificação das actividades de normalização, economia de recursos.



3. IDENTIFICAÇÃO DOS CABOS

3.1 SISTEMA DE DESIGNAÇÕES

A designação dos cabos harmonizados de isolamento de PVC ou borracha, até à tensão de 450/750 V, segue o estipulado na norma NP 2361 (que adoptou, no essencial, o texto do HD 361), e que segue as regras estabelecidas pelo CENELEC nesta matéria. Para os outros tipos de cabos, não existe normalização europeia aplicável, pelo que em Portugal se segue a norma NP 665. Esta norma especifica a designação dos cabos, sempre que ela não esteja definida na respectiva norma de construção.

De uma forma geral a designação comporta três partes: um conjunto de símbolos que ilustram a construção do cabo, a identificação da tensão estipulada e a composição do cabo (número e secção dos condutores).

Nas [TABELAS 3.1](#) e [3.2](#) faz-se um resumo das respectivas normas indicando para cada caso a simbologia mais utilizada na baixa tensão.

TABELA 3.1. – SISTEMA DE DESIGNAÇÃO PARA CABOS HARMONIZADOS

		Símbolo	
Parte 1	Correspondência dos cabos com a normalização	Cabo conforme as normas harmonizadas	H
		Cabo de tipo nacional reconhecido incluído nos complementos correspondentes das normas harmonizadas	A
		Cabo nacional	Nenhum símbolo
	Tensão estipulada U_0/U (V)	100/100	01
		300/300	03
	300/500	05	
	450/750	07	
Parte 2	Materiais de isolamento e de bainhas não metálicas	Policloreto de vinilo (PVC) corrente	V
		Composição de policloreto de vinilo para a temperatura de funcionamento em regime permanente de 90°C	V2
		Composição de policloreto de vinilo para cabos instalados a baixas temperaturas	V3
		Policloreto de vinilo reticulado	V4
		Composição especial de policloreto de vinilo, resistente ao óleo	V5
		Composição reticulada à base de poliolefina, com baixo nível de emissão de gases corrosivos e adequada à aplicação em cabos que, quando em combustão, tem baixa emissão de fumos	Z
		Composição termoplástica à base de poliolefina, com baixo nível de emissão de gases corrosivos e adequada à aplicação em cabos que, quando em combustão, têm baixa emissão de fumos	Z1
		Borracha de etileno-propileno para uma temperatura de serviço em regime permanente de 90°C	B
		Etileno-vinil-acetato (EVA)	G
		Mineral	M
		Policloropreno (ou equivalente)	N
		Composto especial de policloropreno destinado a revestir cabos para soldadura em conformidade com HD 22.6	N2
		Polietileno clorossulfonado ou polietileno clorado	N4
		Composto especial de policloropreno clorado	N8
		Borracha de etileno-propileno ordinária ou elastómero sintético equivalente para uma temperatura de serviço em regime permanente de 60°C	R
	Borracha de silicone	S	
	Trança têxtil, impregnada ou não, sobre condutores cableados	T	
	Trança têxtil, impregnada ou não, sobre condutores constituintes de um cabo multipolar	T6	
	Condutores concêntricos e ecrãs (blindagens)	Condutor concêntrico de cobre	C
		Ecrã de cobre sob a forma de trança, sobre o conjunto de condutores cableados	C4
	Elementos especiais constituintes de um cabo	Elemento tensor constituído por um ou mais componentes colocados no centro de um cabo redondo ou repartido(s) no interior de um cabo plano	D3
		Enchimento central (elemento tensor, somente para cabos para elevadores)	D5
	Constituições especiais	Cabo redondo	Nenhum símbolo
		Cabo achatado, com ou sem bainha, cujos condutores isolados se podem separar	H
		Cabo achatado, cujos condutores isolados não se podem separar	H2
		Cabo plano compreendendo 3 ou mais condutores, segundo o HD 359 ou a EN 50214	H6
		Cabo com dupla camada de isolamento aplicada por extrusão	H7
	Materiais dos condutores	Cordão extensível	H8
		Cobre	Nenhum símbolo
		Alumínio	-A
	Forma e construção dos condutores	Condutor flexível para uso nos cabos destinados à soldadura por arco, de acordo com o HD 22.6 (flexibilidade não correspondente à classe 5 do EN 60228)	-D
		Condutor extraflexível para uso nos cabos destinados à soldadura por arco, de acordo com o HD 22.6 (flexibilidade não correspondente à classe 6 do EN 60228)	-E
Condutor flexível de um cabo flexível (correspondente à classe 5 do EN 60228)		-F	
Condutor extraflexível de um cabo flexível (correspondente à classe 6 do EN 60228)		-H	
Condutor flexível de um cabo flexível para instalações fixas (salvo especificação em contrário, trata-se da classe 5 do EN 60228)		-K	
Condutor rígido cableado, de secção circular		-R	
Condutor rígido maciço, de secção circular		-U	
Condutor helicoidal		-Y	
Parte 3	Número e secção nominal dos condutores	n condutores de secção nominal s mm ²	n x s
		n condutores de secção nominal s mm ² , um dos quais é o condutor de protecção verde/amarelo	n G s
		n ₁ condutores de secção nominal s ₁ mm ² e n ₂ condutores de secção nominal s ₂ mm ²	n ₁ x s ₁ + n ₂ x s ₂
		n ₁ condutores de secção nominal s ₁ mm ² e n ₂ condutores de secção nominal s ₂ mm ² um dos quais é o condutor de protecção verde/amarelo	n ₁ x s ₁ + n ₂ G s ₂
		Para os condutores helicoidais para os quais não é especificada a secção nominal	Y

Exemplos:

H07V-R 1x70 – Cabo harmonizado, de tensão estipulada 450/750 V, constituído por um condutor de cobre rígido cableado, isolado a PVC. Composto por um condutor de 70 mm² de secção nominal.

05VV-U 3G2,5 – Cabo nacional, de tensão estipulada 300/500 V, constituído por condutores rígidos, maciços de cobre, isolados a PVC e com bainha de exterior de PVC. Composto por 3 condutores de 2,5 mm² de secção nominal, um dos quais é o condutor de protecção (verde/amarelo).

3.1.2 CABOS NÃO HARMONIZADOS

TABELA 3.2 – SISTEMA DE DESIGNAÇÃO PARA CABOS NÃO HARMONIZADOS

		Símbolo	
Parte 1	Material dos condutores	Cobre macio	Nenhum símbolo
		Alumínio multifilar	L
		Alumínio maciço	LS
	Grau de flexibilidade dos condutores	Condutores rígidos (classes 1 ou 2 da EN 60228)	Nenhum símbolo
		Condutores flexíveis (classe 5 da EN 60228)	F
		Condutores extra-flexíveis (classe 6 da EN 60228)	FF
	Materiais de isolamento e de bainhas não metálicas	Policloreto de vinilo (PVC)	V
		Policloreto de vinilo com resistência a hidrocarbonetos	Vh
		Polietileno termoplástico	E
		Polietileno reticulado (XLPE)	X
		Etileno-vinilo-acetato EVA	G
		Borracha de etileno propileno	B
		Composição reticulada à base de poliolefina, com baixo nível de emissão de gases corrosivos e adequada à aplicação em cabos que, quando em combustão, têm baixa emissão de fumos	Z
		Composição termoplástica à base de poliolefina, com baixo nível de emissão de gases corrosivos e adequada à aplicação em cabos que, quando em combustão, têm baixa emissão de fumos	Z1
		Blindagens	Blindagem individual
	Blindagem colectiva		H
	Blindagem estanque		1 antes de H ou HI
	Condutores concêntricos	Fios de cobre	O
	Revestimentos metálicos conferindo protecção mecânica	Fitas de aço	A
		Fitas de aço corrugada	2A
		Fios de aço	R
		Barrinhas de aço	M
		Trança de aço galvanizado	1Q
		Fitas de material não magnético	1A
		Fitas corrugadas de material não magnético	3A
		Fios de material não magnético	1R
		Barrinhas de material não magnético	1M
Trança de cobre		Q	
Forma de agrupamento dos condutores isolados	Condutores isolados cableados ou torcidos	-	
	Condutores isolados dispostos paralelamente, sem cableamento ou torção	D	
Indicações diversas	Cabos auto-suportados	S	
Parte 2	Número e secção nominal dos condutores	n condutores de secção nominal s mm ²	n x s
		n condutores de secção nominal s mm ² , um dos quais é o condutor de protecção verde/amarelo	n G s
		n ₁ condutores de secção nominal s ₁ mm ² e n ₂ condutores de secção nominal s ₂ mm ²	n ₁ x s ₁ + n ₂ x s ₂
		n ₁ condutores de secção nominal s ₁ mm ² e n ₂ condutores de secção nominal s ₂ mm ² um dos quais é o condutor de protecção verde/amarelo	n ₁ x s ₁ + n ₂ G s ₂
		n condutores de secção nominal s ₁ mm ² e um condutor concêntrico de secção nominal s ₂ mm ²	n x s ₁ / s ₂
Parte 3	Tensão estipulada	Tensão simples, entre o condutor e a terra ou blindagem	U ₀
		Tensão composta, entre dois condutores	U
		Valor máximo da tensão do sistema na qual o equipamento pode ser usado (indicação facultativa)	Um

Nota: No caso dos revestimentos internos serem de material de características não especificadas ou desempenhando apenas função de regularização ou cama de armadura, não se deve incluir na designação o símbolo correspondente a esse revestimento. Exemplo: VAV apenas se indicam os símbolos para a isolamento (V) para a armadura (A) e para a bainha exterior (V).

SIMBOLOGIA RELATIVA AO COMPORTAMENTO DOS CABOS AO FOGO

Esta norma define também um conjunto de símbolos que complementam a designação anterior e que descrevem o comportamento do cabo em relação ao fogo.

Característica	Comportamento	Simbologia	Norma a satisfazer (1)
Propagação da chama	Retardante à chama	Nenhum símbolo (2)	EN 60332-1
Propagação do fogo	Retardante ao fogo	(frt) (fire retardant)	IEC 60332-3
Resistência ao fogo	Resistente ao fogo	(frs) (fire resistant) (3)	IEC 60331-11
Opacidade de fumos	Baixa opacidade dos fumos libertados	(ls) (low smoke)	IEC 61034
Corrosividade	Baixa corrosividade dos fumos libertados	(la) (low acid)	EN 50267, IEC 60754
Toxicidade	Baixa toxicidade dos fumos libertados	(lt) (low toxicity)	
Isento de halógenos		(zh) (zero halogen)	IEC 61034, EN 50267, IEC 60754

Nota:

Considera-se que um cabo zh é por natureza também la, ls e lt.

(1) - Ou norma equivalente.

(2) - A não utilização da sigla não é suficiente para se classificar o cabo como retardante da chama.

(3) - Um cabo frs é habitualmente também frt, podendo-se por isso omitir a sigla frt.

Exemplos:

LSVAV 3 x 35 0,6/1kV - Cabo de tensão estipulada 0,6/1 kV, constituído por condutores de alumínio, maciço, 3 de 35 mm² de secção nominal, isolados a policloreto de vinilo, armado com fitas de aço, com bainha exterior de policloreto de vinilo.

VV (frt) 3 x 50 + 2G25 0,6/1kV - Cabo de tensão estipulada 0,6/1 kV, retardante ao fogo, constituído por condutores de cobre, 3 de 50 mm² de secção nominal e 2 de 25 mm² de secção nominal um dos quais é o condutor de protecção verde/amarelo, isolados a policloreto de vinilo, com bainha exterior de policloreto de vinilo.

XZ1 (frs,zh) 5G1,5 0,6/1kV - Cabo de tensão estipulada 0,6/1 kV, retardante ao fogo, resistente ao fogo e isento de halógenos, constituído por condutores de cobre, 5 de 1,5 mm² de secção nominal, um dos quais é o condutor de protecção verde/amarelo, isolados a polietileno reticulado, com bainha exterior de poliolefina termoplástica isenta de halógenos.

Nota: A introdução da sigla Z e Z1 na NP 665 foi realizada na última revisão desta norma, editada em 2006. Anteriormente, uma bainha ignífuga era genericamente designada pela letra G. Assim por exemplo, a designação XG foi substituída para a generalidade das aplicações pela designação XZ1 (frt, zh).

3.2 SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DOS CONDUTORES ISOLADOS

A identificação dos condutores num cabo multicondutor faz-se de duas formas: por coloração da isolação, em cabos até cinco condutores, ou por numeração dos condutores isolados para cabos com mais de cinco condutores.

Há excepções a esta regra para alguns cabos de controlo e instrumentação em que a identificação pode ser efectuada por numeração dos condutores, mesmo em cabos com menos de cinco condutores, ou então, em casos, por exemplo, em que os condutores são agrupados em pares, é frequente utilizar-se uma identificação mista, isto é: cada condutor de um mesmo par é identificado por uma cor distinta, e os pares são identificados através da numeração de cada um dos seus condutores.

A identificação dos condutores isolados de cabos para tensões estipuladas que não excedam os 1500 V c.a., segue o estipulado na norma NP HD 308, tradução da norma harmonizada HD 308, versão S2 de 2001-05-01, excluindo-se deste grupo as torçadas, cabos para aplicações de corrente contínua e cabos utilizados no interior de equipamentos.

Para os cabos multicondutores abrangidos pelo campo de aplicação da NP HD 308, a identificação, código de cores e respectiva ordem sequencial, faz-se de acordo com o descrito nas tabelas 3.3 e 3.4.

TABELA 3.3 – CÓDIGO DE CORES PARA CABOS E CORDÕES* COM CONDUTOR VERDE/AMARELO

Número de condutores	Cor dos condutores isolados ^b				
	Protecção	Condutores activos			
3	Verde/amarelo	Azul	Castanho		
4	Verde/amarelo	-	Castanho	Preto	Cinzento
4 ^a	Verde/amarelo	Azul	Castanho	Preto	
5	Verde/amarelo	Azul	Castanho	Preto	Cinzento

TABELA 3.4 – CÓDIGO DE CORES PARA CABOS E CORDÕES* SEM CONDUTOR VERDE/AMARELO

Número de condutores	Cor dos condutores isolados ^b				
2	Azul	Castanho			
3	-	Castanho	Preto	Cinzento	
3 ^a	Azul	Castanho	Preto		
4	Azul	Castanho	Preto	Cinzento	
5	Azul	Castanho	Preto	Cinzento	Preto

a - Só para determinadas aplicações.

b - Nesta tabela não se considera condutor um condutor concêntrico não isolado, como, por exemplo, uma bainha metálica, uma armadura ou blindagem em fios. Um condutor concêntrico é identificado pela sua posição e neste caso não há necessidade de identificá-lo por coloração.

* designação dos cabos flexíveis para ligação de equipamentos móveis.

Para cabos monocondutores estabelecem-se as seguintes regras:

- Na isolamento de cabos monocondutores com bainha e nos condutores isolados devem ser usadas as cores:
 - A combinação bicolor verde/amarelo para o condutor de protecção
 - A cor azul para o condutor neutro
- É recomendada a utilização das cores castanho, preto ou cinzento para os condutores de fase. Outras cores podem ser usadas para certas aplicações

Os cabos torçada são identificados de acordo com as respectivas normas de construção onde habitualmente os condutores de fase são identificados por numeração, marcada a tinta sobre a isolamento.

3.3. MARCAÇÃO

A marcação dos cabos é correntemente efectuada sobre a bainha exterior ou sobre o isolamento, no caso de cabos sem bainha (fios isolados) e varia consoante o tipo de cabo e de acordo com o especificado, em regra, na respectiva norma de construção.

Para os cabos harmonizados, a marcação é definida nas normas HD 21 e HD 22, e é composta pela marca HAR, pela identificação do fabricante e pela primeira parte da designação do cabo, de acordo com a NP 2361.

Para os restantes cabos, e caso a respectiva norma de construção seja omissa nesta matéria, a marcação é normalmente composta pela identificação do fabricante, pela designação do cabo e ano de fabrico, podendo ainda conter outras indicações, nomeadamente a marcação métrica que consiste na marcação do comprimento do cabo metro a metro.

Em qualquer dos casos, a legenda deve ser repetida ao longo do cabo, com um intervalo entre marcações definido, e que varia consoante o tipo de cabo.

A marcação pode ser efectuada por relevo (alto ou baixo), por impressão a tinta, ou por impressão a tinta em baixo relevo. Em todos os casos deve ser legível e indelével.

MARCAÇÃO CE

A marcação CE dos cabos, é obrigatória quando for estabelecida contratualmente, ou quando os cabos estiverem abrangidos pela Directiva de Baixa Tensão. Deverá ser constituída pela marcação do fabricante aposta no próprio cabo e pela marca CE que pode ser aposta no produto ou na embalagem (caixa ou bobina).



4. CRITÉRIOS PARA A SELECÇÃO DE UM CABO DE BAIXA TENSÃO

Sendo os cabos eléctricos de baixa tensão elementos privilegiados em diversas instalações, como sejam:

- Instalações fixas, protegidas, estabelecidas no interior de aparelhos de utilização,
- Instalações dentro de edifícios, em locais domésticos e industriais,
- Canalizações à vista ou embebidas, protegidas por tubos, para circuitos de sinalização ou controlo,
- Rede de transporte e distribuição de energia, quer à vista quer enterradas,
- Rede de electrificação rural aérea e de iluminação pública,

o conhecimento e escolha das suas características tem uma importância relevante no contexto do projecto, execução, exploração e conservação daquelas.

4.1 TENSÃO ESTIPULADA

A escolha da tensão estipulada deve ser efectuada tendo em conta as condições de operação da instalação onde o cabo vai ser inserido. Como regra geral, a tensão nominal do cabo não deve ser inferior à tensão nominal da instalação (valor eficaz em corrente alternada), ou a cerca de 66% da tensão nominal da instalação em corrente contínua.

Para os cabos a tensão estipulada é definida pelo conjunto de três tensões, são elas:

- U_0 - Tensão simples, tensão eficaz entre fase e terra, ou seja, entre o condutor de fase e a terra ou blindagem
- U - Tensão composta, tensão eficaz entre dois condutores de fase
- Um - Valor máximo da tensão do sistema na qual o equipamento pode ser usado, ou seja, tensão máxima eficaz entre fases para a qual o cabo é concebido

Os valores recomendados para a tensão estipulada (U_0/U) de cabos de baixa tensão são:

100/100 V; 300/300 V, 300/500 V, 450/750 V, 600/1000 V

Os cabos flexíveis de tensão estipulada 100/100 V ou 300/300 V apenas podem ser utilizados nas partes da instalação em que a tensão nominal não é superior a 100 V ou 300 V (em corrente alterna ou em corrente contínua) respectivamente.

Os condutores e os cabos de tensão estipulada 600/1000 V podem ser utilizados em qualquer instalação de baixa tensão.

4.2 SELECÇÃO DO TIPO CONSTRUTIVO NA GAMA CABELTE

Para a selecção do tipo construtivo concorrem vários factores: tipo de aplicação, tipo de utilização, traçado da instalação, entre outros.

Para aplicações domésticas, no interior dos edifícios, são usados cabos de cobre, sendo os de PVC os mais comuns; sem bainha se instalados em canalizações fixas embebidas ou dentro dos quadros eléctricos, com isolamento e bainha para montagem à vista, em ocios de construção, em tectos falsos, ou entubados.

Se estivermos na presença de instalações industriais, então os cabos com isolamento de XLPE são os mais adequados. Neste caso poderão ser de cobre ou de alumínio.

Os cordões flexíveis devem ser utilizados em ligações dos equipamentos móveis.

Em determinados casos dever-se-á equacionar a necessidade de blindagem, especialmente quando os cabos se destinam a instrumentação e são colocados em zonas de forte ruído electromagnético, ou nos casos de cabos de sinalização quando colocados ao longo de linhas de alta tensão ou ao longo de linhas férreas ficando sob o efeito da catenária.

O tipo de traçado da instalação também é um factor determinante na escolha do grau de flexibilidade do cabo (aspecto que pode ser importante para cabos em conduta em traçados com muitas curvaturas), ou a necessidade de utilização de armadura nos casos em que o cabo é directamente enterrado, ou quando se pretende uma protecção contra roedores.

No catálogo da Cabelte o campo de aplicação constitui um guia na escolha do tipo de cabo mais adequado.

Dentro dos parâmetros de selecção, as influências externas assumem um papel muito importante. É necessário saber caracterizá-las de modo a seleccionar-se o revestimento externo mais adequado, ou seja, aquele que assegurará naquelas condições o bom funcionamento do cabo garantindo uma longevidade aceitável.

Na **TABELA 4.1** resume-se o comportamento de alguns dos materiais de bainha mais comuns às influências externas.

TABELA 4.1 – INFLUÊNCIAS EXTERNAS

Influências externas		PVC	PE (BD)	PE (HD)	Z1	TPU/PUR	Polio ropreno
Agentes atmosféricos		Boa	Boa	Boa	Boa	Excelente	Excelente
Baixas temperaturas		Fraca	Boa	Boa	Fraca	Excelente	Excelente
Absorção de água		-	Boa	Boa	-	-	-
Não propagação do fogo		Boa	Má	Má	Excelente	-	-
Libertação de halogéneos		Má	Boa	Boa	Excelente	Boa	Boa
Resistência ao rasgamento		Boa	Boa	Boa	Fraca	Excelente	Boa
Resistência à abrasão		Boa	Boa	Boa	Boa	Excelente	Boa
Flexibilidade		Fraca	Má	Má	Fraca	Boa	Boa
Ácidos inorgânicos	Ácido clorídrico	Excelente	Boa	Boa	-	Fraca	-
	Ácido sulfúrico (10%)	Excelente	Excelente	Excelente	Má	Fraca	Boa
	Ácido nítrico (5-10%)	Excelente	Excelente	Excelente	Má	Má	Boa
Ácidos orgânicos	Ácido acético (50%)	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca	Fraca
Hidrocarbonetos alifáticos	Butano	Fraca	Fraca	Fraca	-	Fraca	Boa
	Propano	Boa	Fraca	Fraca	-	Má	Boa
	Petróleo	Boa	Má	Fraca	Má	Boa	Boa
	Gasóleo	Excelente	Fraca	Fraca	-	Boa	Fraca
	Gasolina	Fraca	Fraca	Fraca	Boa	Excelente	Fraca
	Gás natural	Excelente	Excelente	Excelente	-	Fraca	Excelente
	Jet Fuel	Fraca	Má	Má	Fraca	Fraca	Má
	Querosene	Fraca	Má	Má	Boa	Excelente	Boa
Hidrocarbonetos aromáticos	Tuoleno	Má	Má	Má	-	Má	Má
	Benzeno	Fraca	Má	Fraca	Má	Má	Fraca
Óleos	Diesel Fuel Oléo (20,30,40,50)	Boa	Fraca	Boa	Boa	Boa	Boa
	Oléo mineral	Boa	Fraca	Boa	Boa	Excelente	Boa
	Oléo de transformadores	Boa	Boa	Boa	Boa	Excelente	Boa
	Oléo hidráulico	Boa	Boa	Boa	Boa	Excelente	Boa
Acetona	Acetona	Má	Fraca	Boa	-	Má	Fraca
Base	Amoniaco	Excelente	Fraca	Fraca	-	Má	Excelente
Alcool	Alcool etílico	Fraca	Boa	Boa	-	Má	Excelente
	Alcool metílico	Fraca	Excelente	Excelente	-	Má	Excelente
Asfalto		Excelente	Excelente	Excelente	-	Boa	Boa
Detergentes sintéticos		Excelente	Boa	Boa	-	Boa	Boa
Água salgada		Boa	Excelente	Excelente	-	Boa	Boa
Água		Boa	Excelente	Excelente	-	Excelente	Excelente
Ozono		Excelente	Fraca	Boa	Boa	Excelente	Boa
Gás natural		Excelente	Excelente	Excelente	-	Fraca	Excelente

Excelente – Muito bom comportamento

Boa – Pequena alteração; corrosão ligeira ou descoloração

Fraca – Alteração considerável - não recomendado contacto em termos permanentes. Pode ocorrer amolecimento, perda de resistência mecânica e absorção.

Má – Alteração grave – não recomendável contacto.

- Sem dados

Na TABELA 4.2 caracteriza-se o comportamento dos metais mais utilizados na indústria dos cabos em presença de algumas substâncias.

TABELA 4.2 – RESISTÊNCIA A PRODUTOS QUÍMICOS

	Cobre	Alumínio	Aço
Ácido sulfúrico ≤ 10%	-	Má	Má
Ácido clorídrico	Má	Má	Má
Ácido nítrico(5-10%)	Má	Excelente	Má
Butano	Fraca	Excelente	Excelente
Petróleo	Boa	Má	Fraca
Gasóleo	Excelente	Excelente	Excelente
Gasolina sem chumbo	Boa	Excelente	Boa
Jet Fuel J3,JP4,Jp5	Excelente	Excelente	Excelente
Querosene	Boa	Excelente	Excelente
Lubrificantes	Excelente	Excelente	Excelente
Nafta	Excelente	Excelente	Boa
Diesel Fuel Óleo (20,30,40,50)	Excelente	Excelente	Excelente
Óleo mineral	Boa	Excelente	Boa
Óleo de transformadores	Excelente	Excelente	Excelente
Óleo hidráulico	Excelente	Excelente	Excelente
Tuoleno	Excelente	Excelente	Excelente
Benzeno	Boa	Boa	Excelente
Acetona	Excelente	Boa	Boa
Amoníaco	Má	Excelente	Excelente
Alcool etílico	Excelente	Boa	Boa
Alcool metílico	Boa	Excelente	Excelente
Asfalto	Excelente	Excelente	Boa
Água salgada	Boa	Boa	Má
Água	Boa	Boa	Má
Ozono	Excelente	Boa	Fraca
Gás natural	-	Excelente	Excelente

Excelente – Muito bom comportamento

Boa – Pequena alteração; corrosão ligeira

Fraca – Alteração considerável - não recomendado contacto em termos permanentes. Pode ocorrer corrosão e perda de resistência mecânica.

Má – Alteração grave – não recomendável contacto.

- Sem dados

A informação contida nas tabelas 4.1 e 4.2 é apenas orientativa, e tem por base um período de exposição não prolongado.

COMPORTAMENTO AO FOGO

Nos casos onde é exigido aos cabos um comportamento especial ao fogo, a selecção do tipo construtivo, nomeadamente a escolha dos materiais de isolamento e bainhas pode ser realizada de acordo com os critérios apresentados na TABELA 4.3.

TABELA 4.3 – SELECÇÃO DO TIPO CONSTRUTIVO PARA CABOS COM COMPORTAMENTO ESPECIAL EM RELAÇÃO AO FOGO.

	Isol.	Bainha	Isento de halogéneos (zh)	Baixo teor de halogéneos HCl < 15%	Não propagador da chama	Não propagador de incêndio	Resistente ao fogo
Tipos de cabos	PVC	PVC	-	(a)	✓	(a)	
	XLPE	PVC	-	(a)	✓	(a)	
	XLPE	C. Ignifugo	✓	✓	✓	✓	(b)

(a) - Satisfaz com composição adequada

(b) - Satisfaz com incorporação de fitas de mica sobre o condutor

✓ - Satisfaz

4.3 – CRITÉRIOS PARA A SELECÇÃO DA SECÇÃO NOMINAL DO CONDUTOR

A escolha da secção nominal dos condutores de fase de um cabo ou dos condutores activos se corrente contínua, faz-se com base numa metodologia que assenta na avaliação de vários factores, procurando estabelecer um compromisso entre os vários requisitos e critérios existentes, quer de ordem técnica, quer de ordem económica, e que de forma resumida se enumeram:

- Intensidade a transportar na canalização
- Tipo de cabo adequado à instalação
- Características da instalação
- Quedas de tensão admissíveis
- Regime de curto-circuito
- Regime de carga variável, sobrecargas
- Secção económica

Além dos critérios que a seguir se expõem, deverão ser observados todos os requisitos estabelecidos no R.T.I.E.B.T. aplicáveis ao tipo de instalação em questão.

No cálculo para a determinação da secção começa-se por calcular a intensidade que se pretende transportar em função das características ou dos receptores a alimentar.

Em seguida, e considerando já definido o tipo de cabo a utilizar, seguindo os critérios estabelecidos na secção anterior, selecciona-se a secção que permite escoar uma corrente igual ao superior à intensidade a transportar.

Se as condições da instalação forem diferentes das mencionadas nas tabelas de características técnicas de cada família de cabo, o valor de intensidade máxima admissível tabelado terá que ser corrigido mediante a determinação dos factores de correcção aplicáveis.

Considerando o valor de queda de tensão máxima admissível para a instalação, escolhe-se a secção mínima que garanta um valor de queda de tensão na instalação igual ou inferior àquele.

Se existirem dados da instalação relativos ao valor da corrente máxima de curto-circuito, calcula-se a secção mínima que permite escoá-la.

Os regimes de carga variável são relativamente complexos de tratar e têm habitualmente pouca utilidade na baixa tensão, pelo que não serão abordados neste manual.

A secção mínima determinada para satisfazer as diferentes condições de funcionamento, em regime permanente e em curto-circuito, e verificar o critério da queda de tensão máxima admissível pode não corresponder à melhor secção do ponto de vista económico. Sempre que se justifique e nos casos em que haja elementos suficientes para tal, determinar-se-à a secção económica.

4.3.1 DETERMINAÇÃO DA SECÇÃO MÍNIMA QUE PERMITE ESCOAR A CORRENTE DE SERVIÇO

4.3.1.1 CÁLCULO DA CORRENTE DE SERVIÇO

Em primeiro lugar, dever-se-á calcular a corrente a transportar (corrente de serviço) em função das características dos receptores a alimentar. Dependendo do regime aplicável temos:

Em corrente contínua:

(4.1)

$$I = \frac{P}{U}$$

Em que:

I (A) – Corrente a transportar

P (W) – Potência absorvida pelos receptores

U (V) – Tensão de serviço entre os condutores positivo e negativo do lado do receptor

Em corrente alternada monofásica:

(4.2)

$$I = \frac{S}{U}$$

Em que:

I (A) – Corrente a transportar

S (VA) – Potência aparente absorvida pelos receptores

U (V) – Tensão de serviço do lado dos receptores, entre fase e neutro

Em corrente alternada trifásica:

(4.3)

$$I = \frac{S}{U\sqrt{3}}$$

Em que:

I (A) – Corrente a transportar

S (VA) – Potência aparente absorvida pelos receptores

U (V) – Tensão de serviço do lado dos receptores, tensão entre fases (composta)

I e U em valores eficazes.

DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA ABSORVIDA

A potência a considerar na determinação da corrente de serviço, ou da intensidade a transportar na canalização deve ser estabelecida tendo em consideração os modos de exploração identificados; factores de utilização (K_u), simultaneidade (k_s) e de previsão da evolução das cargas (k_e).

(4.4)

$$S = S_{IT} \times k_u \times k_s \times k_e$$

Em que:

S (VA) – Potência aparente absorvida pelos receptores

S_{IT} (VA) – Potência instalada total (somatório das potências instaladas de todos os receptores)

No caso do cálculo da potência total de alimentação de uma instalação ou em quadros eléctricos deve-se procurar determinar estes três factores. No cálculo das canalizações de alimentação de receptores e não havendo dados suficientes dever-se-á considerá-los iguais a 1.

Nas situações de corrente alternada a potência absorvida pelos receptores é frequentemente dada através da potência activa. Neste caso, a potência aparente S é determinada de acordo com a expressão:

(4.5)

$$S = \frac{P}{\cos\phi \times \frac{\eta}{100}}$$

Em que:

P (W) – Potência útil, directamente explorada pelo receptor ($1\text{cv} = 736\text{ W}$)

$\cos\phi$ – Factor de potência

η (%) – Rendimento do receptor

Valores habituais a considerar para o rendimento do receptor e factor de potência

TABELA 4.4 – RENDIMENTO E FACTOR POTÊNCIA

Tipo de receptor	$\cos\phi$	η
Iluminação incandescente	1	100
Iluminação fluorescente -com compensação	0,85	80
Iluminação fluorescente -sem compensação	0,5	80
Iluminação – descarga em gases	0,9	70
Força motriz * – funcionamento normal	0,75 a 0,92	70 a 90
Força motriz – em vazio	0,30 a 0,50	70 a 90

* No caso do factor de potência ser desconhecido considerar o valor de 0,8

4.3.1.2. CORRENTE MÁXIMA ADMISSÍVEL DO CABO

A corrente máxima admissível do cabo é a corrente máxima em regime permanente que provoca o aquecimento do condutor até ao máximo permitido pelo material isolante, em determinadas condições de instalação. Os valores indicados no catálogo da Cabelte e no anexo 8.1 deste guia são calculados de acordo com o estabelecido na CEI 60287.

O método de cálculo é relativamente complexo, dependendo de factores relacionados com a construção do cabo, como sejam a resistência óhmica do condutor, a temperatura máxima admissível para a isolamento e a resistividade térmica dos materiais que o constituem, e de factores relacionados com o meio envolvente, nomeadamente, resistências térmicas e temperatura, proximidade térmica de outras canalizações de potência

As temperaturas máximas admissíveis para os principais materiais de isolamento dos cabos da Cabelte, policloreto de vinilo e polietileno reticulado estão indicados na tabela 4.5, e seguem o estipulado nas normas de cabos do CENELEC e da CEI.

TABELA 4.5 – TEMPERATURAS MÁXIMAS DO CONDUTOR PARA DIFERENTES MATERIAIS DE ISOLAÇÃO

Material Isolante	Temperatura máxima do condutor (°C)	
	Em regime permanente	Em regime de curto-circuito, máx. 5 s
PVC	70	160 para condutores com secções ≤ 300 mm ² 140 para condutores com secções > 300 mm ²
XLPE	90	250

CORRECÇÃO DO VALOR DA CORRENTE MÁXIMA ADMISSÍVEL DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES REAIS DA INSTALAÇÃO.

As correntes máximas admissíveis indicadas na catálogo da Cabelte têm como referência as seguintes condições de instalação e de serviço:

Cabos directamente enterrados (cabos com isolação e bainha)	Cabos ao ar livre (cabos com isolação e bainha)	Condutores isolados em tubos embebidos nos elementos da construção, em alvenaria (cabos sem bainha – fios isolados)
Temperatura do solo = 20°C Profundidade de colocação = 0,7 a 1,0 m Resistividade térmica do solo = 1 K.m/W Sem migração de humidade	Temperatura ambiente = 30°C Protegido da radiação solar	Temperatura ambiente = 30°C Protegido da radiação solar
Método de referência D	Método de referência E ou G	Método de referência B

No anexo 8.1. encontram-se tabeladas as correntes máximas admissíveis para uma gama mais alargada de cabos, baseadas no estabelecido nas R.T.I.E.B.T (Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão – Decreto Lei nº 226/2005 e Portaria nº 949-A/2006). Para além dos modos de instalação acima referidos foram considerados outros, também utilizados na prática com frequência:

- Condutores isolados e cabos monocondutores em tubos embebidos em elementos da construção termicamente isolantes.
- Cabos multicondutores em tubos embebidos em elementos da construção termicamente isolantes.
- Cabos mono ou multicondutores em ocios de construção, em tectos falsos ou suspensos, em caleiras abertas ou ventiladas, em calhas fixadas a elementos da construção, em percursos horizontais ou verticais, em calhas de rodapé
- Condutores isolados em condutas em ocios da construção, em condutas não circulares embebidas durante a construção dos edifícios.
- Cabos mono e multicondutores fixados às paredes, aos tectos ou em caminhos de cabos não perfurados.

A designação dos modos de instalação e métodos de referência seguem o adoptado no R.T.I.E.B.T., quadro 52H.

Para todos os casos o valor tabelado aplica-se apenas a um circuito formado por um cabo multipolar ou por um conjunto de cabos monocondutores (3 se trifásico, 2 se monofásico).

No caso dos cabos monocondutores dispostos em triângulo ou em esteira admite-se que na instalação são colocados equidistantes e regularmente transpostos.

Quando as condições reais de instalação são diferentes das estabelecidas para o valor de corrente tabelado, torna-se necessário corrigi-lo, tendo-se que para tal identificar previamente os coeficientes de correcção aplicáveis.

Na TABELA 4.6 resumem-se as situações para as quais são indicados coeficientes de correcção.

(4.6)

$$I = I \text{ (CORRENTE MÁXIMA ADMISSÍVEL - valor de catálogo) } \times \text{ PRODUTO DOS COEFECIENTES DE CORRECÇÃO APLICÁVEIS}$$

Conforme traduzido pela expressão 4.6 a influência dos diversos coeficientes de correcção é simultânea.

TABELA 4.6 – COEFICIENTES DE CORRECÇÃO PARA VÁRIOS MODOS DE INSTALAÇÃO

Modo de instalação	Coefficiente	Descrição
Cabos enterrados	CE1	Temperatura do solo
	CE2	Profundidade de colocação
	CE3	Resistividade térmica do solo
	CE4	Proximidade térmica de outras canalizações de potência
Cabos ao ar livre	CA1	Temperatura do ar
	CA2	Exposição à radiação solar
	CA3	Proximidade térmica de outras canalizações de potência
Cabos em tubos	CT1	Instalação enterrada
	CT2	Instalação ao ar
	CT3	Proximidade térmica de outras canalizações de potência

COEFICIENTES DE CORRECÇÃO

Nos quadros seguintes apresentam-se os coeficientes de correcção a aplicar no cálculo da corrente máxima admissível de uma dada canalização, em função dos modos de instalação mais usuais. Quando existe mais do que um circuito supõe-se que os cabos que os compõem se encontram igualmente carregados.

CE. COEFICIENTES PARA CABOS ENTERRADOS

CE1. TEMPERATURA DO SOLO

Para temperaturas do solo diferentes de 20°C deverá ser utilizado o coeficiente respectivo à nova temperatura, indicado na TABELA 4.7.

Consoante se trate de um cabo com isolamento de PVC ou de XLPE seleccionar-se-ão as temperaturas de 70°C ou 90°C, respectivamente. Se os receptores não trabalharem à plena carga, então poder-se-á escolher uma temperatura diferente, mas sempre inferior à máxima admissível em regime permanente, para o material em questão.

TABELA 4.7 – COEFICIENTE DE CORRECÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO SOLO

Temperatura do solo (°C)	Temperatura do condutor em regime permanente (°C)					
	Isolação PVC		Isolação XLPE			
	65	70	75	80	85	90
10	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,07
15	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04
20	1	1	1	1	1	1
25	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96
30	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93
35	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89
40	0,75	0,77	0,80	0,82	0,83	0,85
45	0,67	0,71	0,74	0,76	0,78	0,80
50	0,58	0,63	0,67	0,71	0,73	0,76

CE2. PROFUNDIDADE DE COLOCAÇÃO

Se o cabo for enterrado a uma profundidade de 0,7 m a 1,20 m considera-se o factor de correcção igual a 1. No caso de cabos enterrados perto da superfície do solo, dever-se-á considerar uma temperatura do solo superior a 20°C e aplicar o coeficiente de correcção indicado no ponto CE1.

CE3. RESISTIVIDADE TÉRMICA DO SOLO

Para resistividades térmicas diferentes de 1K.m/W, valor típico para um terreno seco, deverá ser utilizado o coeficiente correspondente às características do terreno onde o cabo vai ser instalado.

A resistividade térmica do solo depende de vários factores pelo que é difícil determinar com exactidão o seu valor. Em determinados casos deverá ser avaliada localmente, através de medições. Na ausência do valor correcto poderão ser usados, como aproximação, os valores típicos indicados para vários solos na TABELA 4.8

TABELA 4.8 – COEFICIENTE DE CORRECÇÃO EM FUNÇÃO DA RESISTIVIDADE TÉRMICA DO SOLO

Resistividade térmica (K.m/W)	Factor de correcção	Estado do solo	Condições meteorológicas	Natureza do terreno
0,4	1,25	Muito húmido	Humidade contínua	Lodo (cabo imerso)
0,5	1,21	Muito húmido	Humidade contínua	Areia
0,7	1,13	Muito húmido	Humidade contínua	Argila e calcário
0,85	1,05	Húmido	Chuvas regulares	Argila e calcário
1,0	1,00	Seco	Chuvas ocasionais	Argila e calcário
2,0	0,76	Seco	Ausência de chuva	Cinzas
2,5	0,70	Seco	Ausência de chuva	Cinzas
3,0	0,65	Muito seco	Ausência de chuva	Cinzas

CE4. PROXIMIDADE TÉRMICA DE OUTRAS CANALIZAÇÕES DE POTÊNCIA

No caso de existirem vários circuitos constituídos por cabos multicondutores trifásicos ou monofásicos, ou agrupamento de dois ou três condutores igualmente carregados próximos uns dos outros, colocados numa só esteira e não sobrepostos, deverá ser utilizado o coeficiente de correcção de acordo com a TABELA 4.9

FIG. 4.1 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA DISTRIBUIÇÃO DOS CABOS

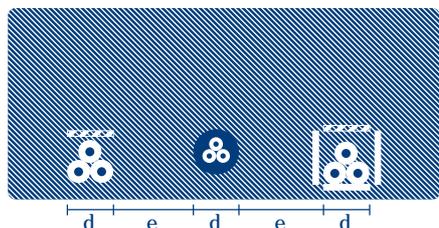


TABELA 4.9 – COEFICIENTE DE CORRECÇÃO PARA PROXIMIDADE TÉRMICA DE OUTRAS CANALIZAÇÕES

	Nº de circuitos							
	2	3	4	5	6	7	8	≥ 9
e = 0	0,80	0,69	0,62	0,57	0,54	0,51	0,49	0,47
e = 20cm	0,85	0,78	0,72	0,68	0,62	0,62	0,61	0,55
e = 40cm	0,90	0,82	0,79	0,76	0,74	0,72	0,71	0,70
e = 60cm	0,92	0,86	0,83	0,81	0,80	0,78	0,78	0,77

Quando os cabos forem montados em mais de uma camada, devem-se multiplicar os valores indicados na TABELA 4.9 pelos factores seguintes:

TABELA 4.10 - COEFICIENTE DE CORRECÇÃO PARA SOBREPOSIÇÃO DE CAMADAS

Nº. de camadas	Coeficiente
2	0,8
3	0,73

CA. COEFICIENTES PARA CABOS COLOCADOS AO AR LIVRE

Os cabos ao ar livre devem ser instalados de forma a que haja uma boa circulação de ar em torno deles. Desde que tal não aconteça dever-se-ão aplicar os factores de correcção adequados.

Considera-se que numa instalação ao ar livre as perdas térmicas são dissipadas por convecção natural e radialmente, sem provocar aquecimento do ar ambiente.

Especial atenção deve ser dada se existir a influência de uma fonte externa de calor, atribuindo um factor adicional de redução a determinar conforme o caso.

CA1. TEMPERATURA DO AR AMBIENTE

Para temperaturas diferentes de 30°C deverá ser usado o coeficiente correspondente à nova temperatura, conforme o indicado na TABELA 4.11.

TABELA 4.11 – COEFICIENTE DE CORRECÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE

Temperatura do ar (°C)	Temperatura do condutor em regime permanente (°C)					
	Isolação PVC		Isolação XLPE			
	65	70	75	80	85	90
	0	1,36	1,32	1,29	1,26	1,24
5	1,31	1,27	1,25	1,22	1,21	1,19
10	1,25	1,22	1,20	1,18	1,17	1,15
15	1,20	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12
20	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08
25	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04
30	1	1	1	1	1	1
35	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96
40	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91
45	0,76	0,79	0,82	0,84	0,85	0,87
50	0,65	0,71	0,75	0,77	0,80	0,82
55	0,53	0,61	0,67	0,71	0,74	0,76
60	0,38	0,50	0,58	0,63	0,67	0,71
65		0,35	0,47	0,55	0,60	0,65
70			0,33	0,45	0,52	0,58
75				0,32	0,43	0,50
80					0,30	0,41
85						0,29

CA2. EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO SOLAR

A determinação do factor de correcção para um cabo que está exposto à radiação solar é complexa e deverá ser realizada de acordo com a CEI 60287 “Electric cables – Calculation of the current rating”. Se não for necessário um cálculo muito rigoroso, pode-se considerar, como aproximação, o valor de 0,85.

CA3. PROXIMIDADE TÉRMICA COM OUTRAS CANALIZAÇÕES DE POTÊNCIA

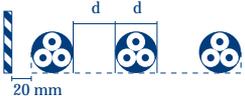
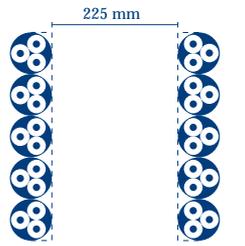
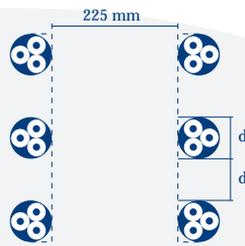
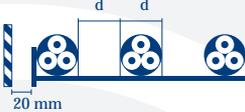
Em caso de agrupamento de circuitos, formados por cabos monocondutores ou multicondutores, encastrados ou embebidos nos elementos da construção, instalados sobre as paredes, pisos ou sobre caminhos de cabos não perfurados dever-se-ão aplicar os factores de correcção da TABELA 4.12 relativamente aos valores das correntes máximas admissíveis indicados para cabos instalados segundo o método de referência C do anexo 8.1.

TABELA 4.12 – COEFICIENTE DE CORRECÇÃO PARA AGRUPAMENTO DE CIRCUITOS FORMADOS POR CABOS MULTICONDUCTORES OU POR CONJUNTOS DE CABOS MONOCONDUCTORES, INSTALADOS AO AR, LADO A LADO EM CAMADA SIMPLES.

Método de instalação - Disposição dos cabos	Nº de circuitos - cabos multicondutores ou conjunto de cabos monocondutores					
	1	2	3	4	6	9
Encastrados ou embebidos em elementos da construção	1	0,80	0,70	0,65	0,57	0,5
Sobre as paredes ou pisos ou sobre caminhos de cabos não perfurados	1	0,85	0,79	0,75	0,72	0,70
Nos tectos	0,95	0,81	0,72	0,68	0,64	0,61

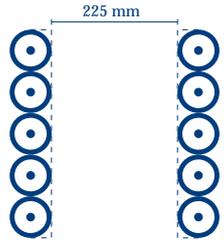
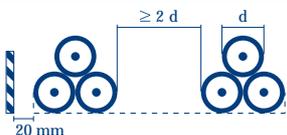
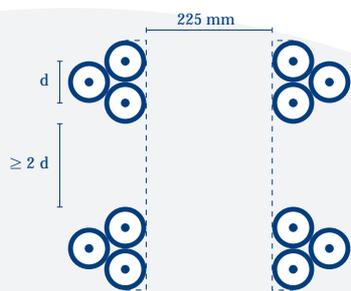
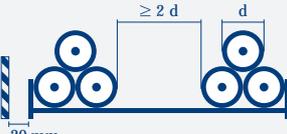
Em caso de agrupamento de circuitos formados por cabos monocondutores ou multicondutores, instalados ao ar, em tabuleiros perfurados, escadas para cabos ou consolas dever-se-ão aplicar os factores de correcção das TABELAS 4.13 e 4.14 relativamente aos valores das correntes máximas admissíveis indicados para cabos instalados ao ar livre, métodos de referência E e F do anexo 8.1, respectivamente.

TABELA 4.13 – COEFICIENTES DE CORRECÇÃO PARA AGRUPAMENTO DE CIRCUITOS FORMADOS POR CABOS MULTICONDUCTORES, INSTALADOS AO AR, LADO A LADO, EM CAMADA SIMPLES.

Método de instalação		Nº de caminhos de cabos	Nº de cabos (circuitos)					
			1	2	3	4	6	9
Caminhos de cabos perfurados horizontais		1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
		1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	-
		2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	-
		3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	-
Caminhos de cabos perfurados verticais		1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
		1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	-
		2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	-
Escadas ou consolas		1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
		1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	-
		3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	-

d = Diâmetro exterior do cabo

TABELA 4.14 – COEFICIENTES DE CORRECÇÃO PARA AGRUPAMENTO DE CIRCUITOS FORMADOS POR CABOS MONOCONDUTORES, INSTALADOS AO AR, LADO A LADO EM CAMADA SIMPLES.

Método de instalação	Nº de caminhos de cabos	Nº de cabos (circuitos)			
		1	2	3	
Caminhos de cabos perfurados horizontais		1	0,98	0,91	0,87
	2	0,96	0,87	0,81	
	3	0,95	0,85	0,78	
Caminhos de cabos perfurados verticais		1	0,96	0,86	-
	2	0,95	0,84	-	
Escadas ou consolas		1	1,00	0,97	0,96
	2	0,98	0,93	0,89	
	3	0,97	0,90	0,86	
Caminhos de cabos perfurados horizontais		1	1,00	0,98	0,96
	2	0,97	0,93	0,89	
	3	0,96	0,92	0,86	
Caminhos de cabos perfurados verticais		1	1,00	0,91	0,89
	2	1,00	0,90	0,86	
Escadas ou consolas		1	1,00	1,00	1,00
	2	0,97	0,95	0,93	
	3	0,96	0,94	0,90	

d = Diâmetro exterior do cabo

Notas:

Cada circuito é constituído por três cabos monocondutores em esteira horizontal.

Cada circuito é constituído por três cabos monocondutores em esteira vertical.

Cada circuito é constituído por três cabos monocondutores em triângulo.

Para os circuitos constituídos por vários cabos em paralelo por fase, cada grupo de três condutores deve ser considerado como um único circuito para a determinação do número de circuitos trifásicos.

Os valores indicados nas TABELAS 4.13 e 4.14 para os caminhos de cabos horizontais (tabuleiros perfurados, escadas, consolas) são válidos para uma distância entre eles de 300mm (medida com os cabos colocados). Para distâncias inferiores os valores deverão ser reduzidos.

Os valores indicados nas TABELAS 4.13 e 4.14 para os caminhos de cabos verticais (tabuleiros perfurados, escadas, consolas) são válidos para uma distância entre eles de 225mm (medida com os cabos colocados). Para distâncias inferiores os valores deverão ser reduzidos.

CT. COEFICIENTES PARA CABOS ENTUBADOS

Para o caso dos cabos entubados devem ser respeitadas as relações de diâmetros (interior do tubo/ cabo) abaixo indicadas, de modo a permitir a correcta dissipação de calor, o enfiamento e desenfiamento dos cabos.

Um cabo monopolar por tubo amagnético		$R \geq 1,5$
Um circuito de três cabos monocondutores		$R \geq 2,8$
Um circuito composto por cabo multicondutor		$R \geq 1,5$

R = diâmetro interior do tubo / diâmetro do cabo

CT1. COLOCAÇÃO EM TUBOS ENTERRADOS NO SOLO OU EMBEBIDOS NO BETÃO

Para cabos enterrados e colocados dentro de tubos os valores de corrente máxima admissível determinados para os cabos directamente enterrados (método de referência D do anexo 8.1) devem ser multiplicados pelo coeficiente 0,8.

Caso o mesmo tubo seja partilhado por mais do que um circuito devem ser aplicados os coeficientes de correcção indicados na TABELA 4.15.

TABELA 4.15 – COEFICIENTES DE CORRECÇÃO PARA CABOS ENTUBADOS ENTERRADOS

	Nº de circuitos dentro do mesmo tubo		
	1	2	3
Circuito de três cabos monocondutores ou cabo tripolar	0,80	0,70	0,62

CT2. COLOCAÇÃO DOS TUBOS AO AR

No caso de cabos instalados em tubos montados à vista deverão ser utilizados os coeficientes de correcção indicados na TABELA 4.16, aplicados em relação aos valores de correntes máximas admissíveis determinados para os cabos instalados ao ar livre (métodos de referência E,F do anexo 8.1).

TABELA 4.16 – COEFICIENTES DE CORRECÇÃO PARA CABOS ENTUBADOS AO AR

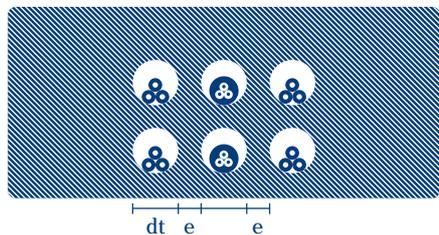
	Nº de circuitos dentro do mesmo tubo		
	1	2	3
Circuito de três cabos monocondutores, para $S \leq 150 \text{ mm}^2$	0,80	0,66	0,58
Circuito de três cabos monocondutores $150 \text{ mm}^2 < S \leq 630 \text{ mm}^2$	0,73	0,60	0,53
Circuito de três cabos monocondutores $S > 630 \text{ mm}^2$	0,68	0,56	-
Cabo tripolar $S \leq 150 \text{ mm}^2$	0,75	0,66	0,58
Cabo tripolar $150 \text{ mm}^2 < S \leq 630 \text{ mm}^2$	0,70	0,62	0,55

S - Secção nominal dos condutores activos ou de fase

CT3. PROXIMIDADE TÉRMICA ENTRE TUBOS

Para agrupamentos de tubos devem ser utilizados os factores de correcção indicados nas TABELAS 4.17 e 4.18, multiplicados pelos coeficientes determinados para as instalações entubadas, considerando um só circuito, de acordo com as TABELAS 4.15 e 4.16, respectivamente.

FIG. 4.2 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA DISTRIBUIÇÃO DOS CABOS



dt = Diâmetro exterior do tubo
 Espaçamento vertical e horizontal $e = \frac{dt}{2}$

TABELA 4.17 – COEFICIENTES DE CORRECÇÃO PARA AGRUPAMENTO DE TUBOS ENTERRADOS OU EMBEBIDOS NO BETÃO, EM FUNÇÃO DA SUA DISPOSIÇÃO (HORIZONTAL E VERTICAL)

Nº de tubos sobrepostos	Nº de tubos colocados lado a lado					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0,87	0,77	0,72	0,68	0,65
2	0,87	0,71	0,62	0,57	0,53	0,50
3	0,77	0,62	0,53	0,48	0,45	0,42
4	0,72	0,57	0,48	0,44	0,40	0,38
5	0,68	0,53	0,45	0,40	0,37	0,35
6	0,65	0,50	0,42	0,38	0,35	0,32

Nota:
 Considera-se um só circuito por tubo (1 cabo multicondutor ou 3 cabos monocondutores)

TABELA 4.18 – COEFICIENTES DE CORRECÇÃO PARA AGRUPAMENTO DE TUBOS INSTALADOS AO AR, EM FUNÇÃO DA SUA DISPOSIÇÃO (HORIZONTAL E VERTICAL)

Nº de tubos sobrepostos	Nº de tubos colocados lado a lado					
	1	2	3	4	5	6
1	1,00	0,94	0,91	0,88	0,87	0,86
2	0,92	0,87	0,84	0,81	0,80	0,79
3	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74
4	0,82	0,78	0,74	0,73	0,72	0,72
5	0,80	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70
6	0,79	0,75	0,71	0,70	0,69	0,68

Nota: Considera-se um só circuito por tubo (1 cabo multicondutor ou 3 cabos monocondutores)

4.3.2 CORRENTE MÁXIMA ADMISSÍVEL EM REGIME DE CURTO CIRCUITO

Na situação de curto-circuito os condutores são percorridos por correntes de valor muito superior aquelas para os quais estão dimensionados em regime permanente. No entanto, a existência de dispositivos de protecção adequados que cortam os circuitos em algumas fracções de segundos limitam a temperatura máxima atingida no condutor.

Devido às características das instalações de baixa tensão, os valores das correntes de defeito nestes casos são significativamente menores do que os que ocorrem em situações semelhantes em instalações de média e alta tensão, razão pela qual, nos cálculos da secção nominal do condutor, habitualmente se despreza este critério de selecção. Nos casos em que tal não se verificar, dever-se-à proceder ao cálculo que a seguir se indica.

Devido à curta duração do curto-circuito garantido pelos sistemas de protecção é corrente considerar-se o regime adiabático, isto é admitir que o calor gerado é retido no condutor durante o curto-circuito. Esta situação não é de facto a real, já que existe dissipação através dos elementos adjacentes ao condutor. No entanto, a consideração do regime adiabático conduz a menores correntes de curto-circuito proporcionando um factor de segurança adicional.

A temperatura máxima que o condutor pode suportar durante o curto circuito é apenas estabelecida pelas características do material isolante e do material do condutor se considerado o regime adiabático (não considerando a dissipação de calor).

Conhecendo a potência de curto circuito e determinando a corrente de curto circuito é possível calcular a secção mínima que permite escoá-la, e escolher o cabo com a secção normalizada igual ou imediatamente superior àquela.

(4.7)

$$S \geq \frac{ICC \times \sqrt{t}}{J}$$

Em que:

S (mm²) - Secção do condutor

ICC (A) - Corrente de curto-circuito da instalação

t (s) - Duração do curto-circuito (inferior ou igual ao tempo de corte do dispositivo de protecção)

J (A/mm²) - Densidade de corrente estipulada para uma duração de curto-circuito de 1s. Depende do material do condutor, do material do isolante e das temperaturas inicial e final do curto-circuito e é determinada de acordo com a CEI 949 – “Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects.”

Na tabela 4.19 estão indicados os valores de densidade de corrente para as situações mais frequentes. Conhecendo o valor da corrente de curto circuito máxima admissível para $t = 1$ s, poder-se-á determinar a corrente de curto circuito máxima admissível para $t = x$ s ($x \leq 5$ s) através da seguinte expressão:

(4.8)

$$I_{(t=x)} = I_{(1s)} \times \sqrt{\frac{1}{x}}$$

TABELA 4.19 - VALORES DE J

Condutor	Isolação	Temperatura máxima em regime permanente (°C)	Temperatura final = temperatura máxima admissível em c.c (°C)	Temperatura inicial (°C)			
				50	65	70	90
				J (A/mm ²)			
Cobre	PVC $S \leq 300$ mm ²	70	160	129	119	115	
	PVC $S > 300$ mm ²	70	140	118	107	103	
	XLPE	90	250	165	157	154	143
Alumínio	PVC $S \leq 300$ mm ²	70	160	85	78	76	
	PVC $S > 300$ mm ²	70	140	78	71	68	
	XLPE	90	250	109	104	102	94

4.3.3 QUEDA DE TENSÃO

Quando uma corrente eléctrica percorre um condutor existe uma queda de tensão entre as suas extremidades dependente da impedância do cabo e da intensidade de corrente eléctrica.

Se o valor da queda de tensão é excessivo, pode acontecer que a tensão fornecida ao receptor no fim da instalação seja demasiado baixa para que este funcione em condições adequadas.

Esta situação é tanto mais gravosa quanto menor for a tensão. Daí que, normalmente, só é considerada para tensões inferiores a 1000V (cabos de baixa tensão), a não ser nos casos em que as instalações tenham um comprimento muito longo.

A canalização deve ser escolhida de modo a assegurar que a queda de tensão máxima esteja dentro dos valores admissíveis para o tipo de equipamento a alimentar.

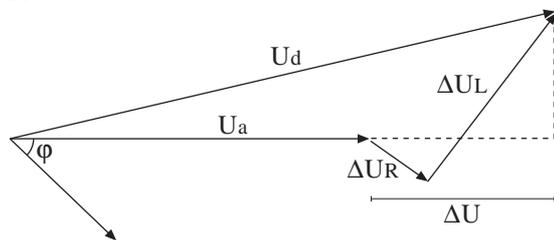
Assim, e conforme o determinado no R.T.I.E.B.T., a queda de tensão entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização, expressa em função da tensão nominal da instalação, não deve ser superior a:

- 3% para circuitos de iluminação e 5% para circuitos de outros usos, para instalações alimentadas a partir da rede de distribuição pública de BT;
- 6% para circuitos de iluminação e 8% para circuitos de outros usos, para instalações alimentadas a partir de um posto de transformação MT / BT.

As quedas de tensão devem ser determinadas a partir das potências absorvidas pelos aparelhos de utilização, considerando os factores de simultaneidade aplicáveis, ou na falta destes, das correntes de serviço de cada circuito.

O cálculo da queda de tensão é ilustrado directamente através do diagrama de vectores, representado na FIG 4.3.

FIG. 4.3



Em que:

U_d - Tensão na origem

U_a - Tensão no ponto de utilização

ΔU_R - Queda de tensão resistiva

ΔU_L - Queda de tensão indutiva

$\cos \varphi$ - Factor de potência do receptor

Devido ao reduzido comprimento das canalizações de energia, habitualmente despreza-se a influência da corrente capacitiva. Nestes casos, a reactância será calculada apenas considerando a indutância aparente do condutor.

Na TABELA 4.32 indica-se, em função do tipo de rede considerada, a expressão do cálculo da queda de tensão.

TABELA 4.32 - CÁLCULO DA QUEDA DE TENSÃO

Tipo de rede considerada	Queda de tensão
Corrente contínua	$\Delta U = 2 \times I \times l \times R$
Corrente alternada monofásica	$\Delta U_o = 2 \times I \times l \times (R \times \cos \varphi + X \sin \varphi)$
Corrente alternada trifásica	$U = 3 \times I \times l \times (R \times \cos \varphi + X \sin \varphi)$

Em que:

ΔU (V) - Queda de tensão entre o início e fim da canalização, entre bornes (+ e -) para sistemas em corrente contínua, entre fases para sistemas em corrente alternada.

ΔU_o (V) - Queda de tensão entre o início e fim da canalização, entre fase e neutro.

I (A) - Corrente transmitida na canalização

$\cos \varphi$ - Factor de potência

l (Km) - Comprimento da canalização.

R (Ω/km) - Resistência aparente do condutor à temperatura de funcionamento.

X (Ω/km) - Reactância aparente (linear) dos condutores .

Simplificações:

Nos casos em que reactância é bastante inferior à resistência óhmica, o que normalmente acontece para os cabos com condutores de secção inferior a 50 mm², poder-se-á desprezar a reactância.

Os parâmetros R e X devem ser calculados de acordo com o estabelecido no capítulo 5.

ARRANQUE DE MOTORES

O cálculo da queda de tensão admissível deverá ter em atenção o regime de arranque dos motores. Nas expressões de cálculo acima referidas, a intensidade de corrente (I) deve ser substituída pela valor da corrente de arranque (I_a), considerando um factor de potência para o regime de arranque inferior ao considerado em regime permanente (na falta de elementos mais precisos dever-se-á considerar $\cos \varphi = 0,35$).

No arranque podem admitir-se quedas de tensão superiores ao estabelecido, desde que as variações de tensão permaneçam dentro dos limites especificados nas instruções de caracterização dos aparelhos.

TABELA 4.33 - CORRENTES DE ARRANQUE DE MOTORES: VALORES TÍPICOS

Tipos de arranque	Correntes de arranque (I_a)
Directo	$6xI_n$
Por arrancador estrela-triângulo	$3xI_n$
Por resistência em série no rotor	$2,2xI_n$

I_n - Corrente em regime normal

Se o circuito alimentar mais do que um motor deverão ser considerados os factores de simultaneidade respectivos. Não deverão ser considerados factores de utilização.

CABOS RESISTENTES AO FOGO XZ1(zh)(frs) (antigo XG(frs))

A determinação da queda de tensão para os cabos resistentes ao fogo deve ser realizada considerando a temperatura que se poderá fazer sentir na(s) área(s) onde o cabo está instalado. Esta condição tem que ser observada de modo a garantir o funcionamento dos equipamentos que os cabos alimentam durante um período de tempo, em condições de incêndio.

No caso de incêndio a totalidade ou parte do comprimento do cabo será sujeito a uma temperatura muito elevada. Após alguns minutos a temperatura pode subir repentinamente chegando a atingir valores na ordem das centenas de graus centígrados.

A variação da resistência óhmica com a temperatura não segue neste caso a expressão (5.1), já que o coeficiente de variação da resistência óhmica com a temperatura só se aplica até cerca de 100°C.

Acima de 100°C a resistência óhmica não cresce linearmente. Neste caso segue a lei de Wiedemann-Franz.

(4.9)

$$R_{T > 100^{\circ}\text{C}} = \left(\frac{T}{T_{20^{\circ}\text{C}}} \right) \times R_{20^{\circ}\text{C}}$$

Em que:

T - Temperatura expressa em Kelvin

$T_{20^{\circ}\text{C}}$ - Temperatura de 20°C em Kelvin = 293K

Admitindo uma temperatura de 750°C, valor determinado no ensaio de resistência ao fogo segundo a CEI 60331-21, teremos:

(4.10)

$$R_{750^{\circ}\text{C}} = \left(\frac{1023}{293} \right) \times R_{20^{\circ}\text{C}} = 3,49 \times R_{20^{\circ}\text{C}}$$

Assim, nas expressões para determinação da queda de tensão, dever-se-á corrigir o valor da resistência óhmica para o troço de cabo que poderá ficar sujeito ao fogo.

Nestas condições poderá ser admissível uma queda de tensão maior do que a estipulada, desde que dentro das especificações dos aparelhos a alimentar.

4.3.4. SECÇÃO ECONÓMICA

Nas secções anteriores foram focados os principais aspectos técnicos a ter em conta no dimensionamento da secção dos condutores. Contudo, os aspectos económicos devem também ser tidos em consideração, particularmente em situações em que os custos de exploração se prevêem elevados. A determinação da secção económica prende-se com uma análise do investimento a médio-longo prazo, sendo por isso desnecessária em instalações provisórias.

A secção económica é aquela que conduz ao custo global mínimo e que resulta da soma de duas parcelas: o custo do investimento da cablagem que aumenta com o aumento da secção dos condutores, e o custo de exploração que diminui por diminuição das perdas por efeito de Joule, na razão inversa do aumento da secção.

(4.11)

$$C_{\text{total}} = C_{\text{investimento}} + C_{\text{exploração}}$$

De uma forma simplificada podemos considerar que o custo de exploração compreende apenas as perdas energéticas nos condutores, desprezando as perdas nos isolantes e nas blindagens quando existirem, e desprezando os custos de manutenção.

Assim, o custo total envolvido na instalação e exploração de uma instalação eléctrica pode ser representado pela expressão:

(4.12)

$$C_{total} (\text{€}) = (A + B \times S) \times l_{total} + c \times \frac{\rho}{S} l_{total} \times I_{MQ}^2 \times h \times CE \times f \times 10^{-3}$$

Em que:

A (€/m) – Custo fixo, não directamente relacionado com a secção dos condutores, por exemplo: custo da instalação respeitante à mão de obra, aos trabalhos de construção civil associados, etc...

$B \times S$ (€/m) – Custo dos cabos admitindo uma relação directamente proporcional com a secção dos condutores

l_{total} (m) – Comprimento total da canalização (comprimento total dos cabos)

c – Número de condutores activos

$\frac{\rho}{S} l_{total}$ () - Resistência do comprimento total da canalização (ρ – resistividade do condutor, S - secção do condutor)

I_{MQ} (A) - Valor da corrente média quadrática (o valor eficaz da corrente não se mantém em geral constante ao longo de todo o período de exploração, pelo que, sempre que possível, se deva determinar o valor de corrente média quadrática calculado através do diagrama de carga estimado da instalação)

h (h) - Número de horas de serviço por ano

CE (€/kWh) – Custo da energia eléctrica

f - Factor de actualização $f = \frac{(1 + t)^n - 1}{t \times (1 + t)^n}$ em que t corresponde à taxa de juro do capital e n é o número de anos de exploração.

O valor mínimo do custo total é obtido quando a derivada $\frac{\partial C_{total}}{\partial S}$ for igual a zero, a que corresponde a secção:

(4.13)

$$S = \sqrt{\frac{3 \times \rho \times I_{MQ}^2 \times h \times CE \times 10^{-3} \times f}{B}}$$

Atendendo que as secções dos cabos são valores discretos, dever-se-á escolher começar por escolher as duas secções imediatamente inferior e imediatamente superior e, com elas, calcular o custo total. A secção económica a considerar corresponderá à que representa o menor custo total.

5.1. RESISTÊNCIA ÓHMICA

Os valores da resistência óhmica dos condutores em corrente contínua, a 20°C, para cada secção normalizada, estão definidos na norma EN 60228, conforme referido na secção 1.2.1 deste manual.

A determinação da resistência óhmica de um condutor, a uma temperatura θ diferente de 20°C, deve ser realizada de acordo com a expressão (5.1)

$$(5.1) \\ R_{\theta^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \times [1 + \alpha (\theta - 20)]$$

Em que:

R_{θ} (Ω /km) - Resistência óhmica do condutor à temperatura θ (°C)

$R_{20^{\circ}C}$ (Ω /km) - Resistência óhmica do condutor, à temperatura de 20°C

α ($^{\circ}C^{-1}$) - Coeficiente de variação da resistência óhmica com a temperatura a 20°C; α (cobre) = 0,00393; α (alumínio) = 0,00403

θ (°C) - Temperatura do condutor

O cálculo da resistência óhmica de um condutor para um comprimento diferente de 1 km, deve ser feito de acordo com a expressão 5.2.

$$(5.2) \\ R_l = R \times l$$

Em que:

R_l (Ω) - Resistência óhmica do condutor de comprimento l

l (km) - Comprimento do condutor

R (Ω) - Resistência óhmica do condutor de 1 km, valor por que é referenciada na EN 60228.

RESISTÊNCIA ÓHMICA EM CORRENTE ALTERNADA

$$(5.3) \\ R_{ca} = R_{cc} \times (1 + y_s + y_p) \times (1 + \lambda_1 + \lambda_2)$$

Em que:

R_{ca} (Ω /km) - Resistência óhmica do condutor em corrente alternada à temperatura máxima de serviço

R_{cc} (Ω /km) - Resistência óhmica do condutor em corrente contínua à temperatura máxima de serviço

λ_1, λ_2 - Perdas na bainha e na armadura. São desprezáveis na BT desde que as condições da instalação sejam adequadas

y_s e y_p representam o efeito pelicular e efeito de proximidade, respectivamente. Se um condutor é percorrido por uma corrente alternada a distribuição de corrente não é uniforme em toda a sua secção transversal, o que conduz a um aumento da sua resistência eléctrica. Este fenómeno é tanto mais grave quanto maior for a secção do condutor e mais elevadas forem a corrente que nele circula e a frequência.

Efeito pelicular- num condutor multifilar composto por um grande número de fios elementares, os fios do centro ficam sob o efeito de um fluxo magnético maior do que os do exterior. Neste caso a f.e.m. cresce da periferia para o centro, e em consequência, a densidade de corrente vista numa secção transversal é maior na periferia. Este efeito é influenciado pela frequência, pelo diâmetro do condutor e pelo valor da corrente.

Efeito de proximidade- se dois condutores estão próximos e são percorridos por correntes do mesmo sentido, então as partes dos condutores que estão próximas, são atravessadas por maior fluxo do que as outras, que estão mais afastadas. Em consequência a densidade de corrente para uma determinada secção recta dos condutores não é uniforme, neste caso será maior nas partes mais afastadas. O contrário verifica-se se os condutores forem percorridos por correntes de sentido contrário, ou seja, a densidade de corrente será maior nas partes mais próximas dos condutores. O efeito de proximidade diminui com o aumento da distância entre condutores.

Para a frequência de 50 Hz e para secções inferiores a 300 mm², para a generalidade das aplicações, pode-se desprezar y_p e y_s , e considerar o valor de resistência óhmica em corrente alternada igual ao valor da resistência óhmica em corrente contínua.

O cálculo dos factores pelicular e de proximidade deve seguir o especificado na CEI 60287 "Electric cables – Calculation of current rating"

5.2 INDUTÂNCIA

O coeficiente de indução própria L de um condutor numa linha monofásica, bifásica ou trifásica é igual ao quociente do fluxo (ϕ) que abraça o condutor pela corrente (I) que nele circula em regime equilibrado.

$$(5.4) \\ \phi = L I$$

(5.5)

$$e = -L \frac{di}{dt}$$

e - Força electromotriz induzida

Para os cabos eléctricos o coeficiente de indução própria L depende essencialmente das dimensões dos condutores e da disposição relativa dos mesmos. Assim, a indutância de um condutor por unidade de comprimento num sistema com retorno, compreende duas partes: uma que representa a indutância própria do condutor e outra que representa a indutância mútua entre este e o condutor de retorno.

(5.6)

$$L = \frac{\mu_o}{2\pi} \left[\frac{1}{4} + \ln \frac{2a}{d} \right]$$

Em que:

L (H/km) - Indutância do condutor por unidade de comprimento

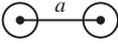
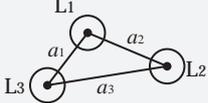
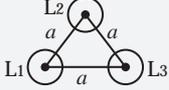
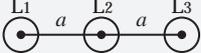
μ_o ($4\pi 10^{-4}$ H/km) - Permeabilidade magnética no vazio

a (mm) - Distância axial entre os condutores

d (mm) - Diâmetro do condutor

Para sistemas com uma disposição simétrica dos condutores activos, o coeficiente de auto-indução aparente, em termos médios, pode ser considerado igual para todos os condutores. Na tabela 5.1 indicam-se as expressões de cálculo para cada um dos casos.

TABELA 5.1 - INDUTÂNCIA

Disposição dos condutores	Indutância (média)
Monofásico 	$L = \frac{\mu_o}{2\pi} \left[\frac{1}{4} + \ln \frac{2a}{d} \right]$
Trifásico 	$L = \frac{\mu_o}{2\pi} \left[\frac{1}{4} + \ln \frac{2a_m}{d} \right] \quad a_m = \sqrt[3]{a_1 a_2 a_3}$
Trifásico 	$L = \frac{\mu_o}{2\pi} \left[\frac{1}{4} + \ln \frac{2a}{d} \right] \quad a_m = a$
Trifásico 	$L = \frac{\mu_o}{2\pi} \left[\frac{1}{4} + \ln \frac{2a_m}{d} \right] \quad a_m = \sqrt[3]{2a} = 1,26a$

Nota: Estas fórmulas só são válidas para cabos não armados e não blindados.

No caso dos cabos unipolares dispostos em triângulo ou esteira a aplicação destas fórmulas pressupõe que os cabos se mantêm equidistantes e são regularmente transpostos.

Para cabos multicondutores armados com material ferromagnético, e como aproximação, dever-se-á considerar um acréscimo de 10% no valor da indutância determinado segundo a TABELA 5.1

5.3 REACTÂNCIA

A reactância aparente de um condutor, desde que as correntes induzidas nas blindagens sejam desprezáveis, pode ser calculada pela seguinte expressão:

(5.7)

$$X = \omega L$$

Em que:

X (Ω /km) - Reactância aparente do condutor

ω - Frequência angular ($2\pi f$; f - frequência da corrente em Hz; habitualmente 50Hz)

L (H/Km) - Indutância do condutor

6. COMPORTAMENTO DOS CABOS AO FOGO

Nas últimas décadas, vários incêndios de grandes proporções, que resultaram em elevadas perdas de vidas humanas e materiais, colocaram a necessidade de definir um conjunto de regras e práticas relativas à segurança de pessoas e bens nos edifícios.

Verifica-se hoje, uma tomada de consciência generalizada por parte dos projectistas, donos de obra e utilizadores, para a necessidade de aumentar os níveis de segurança de pessoas e bens no que diz respeito à prevenção de acidentes, nomeadamente incêndios. Tem-se assistido a inegáveis progressos, não só através da utilização de melhores sistemas de vigilância e segurança, como também, através da construção de melhores infra-estruturas, com produtos mais adequados.

Dentro deste espírito, procura-se assegurar que os equipamentos colocados nos edifícios reduzam, tanto quanto possível, o risco de incêndio e não contribuam para alimentar o mesmo, uma vez iniciado. Os cabos assumem grande importância no conjunto de todo o equipamento, pois estão presentes em todos os imóveis, e sobretudo em edifícios modernos, a cablagem, além de elevada, percorre interliga todas as áreas, quer ao nível vertical, quer ao nível horizontal, através das colunas montantes, tectos falsos, pisos técnicos, armários, etc...

A nova geração de cabos, criada para proporcionar um maior nível de segurança numa situação de incêndio, além de cumprir com os requisitos e funções dos cabos convencionais, distingue-se daqueles pelo seu comportamento ao fogo, em três vertentes:

- Gases e fumos libertados durante a sua combustão
- Propagação do fogo
- Resistência ao fogo

6.1 CABOS IGNÍFUGOS

GASES E FUMOS LIBERTADOS DURANTE A SUA COMBUSTÃO

CABOS DE BAIXA OPACIDADE DOS FUMOS LIBERTADOS - Low smoke - (ls)

São cabos que, em situações de incêndio e em contacto directo com o fogo, libertam fumos de baixa opacidade e que, por não retirarem visibilidade, permitem realizar as saídas de emergência, operações de busca e salvamento, além de facilitarem os trabalhos de extinção do próprio incêndio. Nos cabos convencionais é normal obter taxas de opacidade dos fumos superiores a 85%, de acordo com as normas de referência. Classifica-se um cabo como sendo “(ls)” se, após a realização do ensaio, a transmitância luminosa mínima obtida for igual ou superior a 60%, ou seja, taxa de opacidade dos fumos libertados não superior a 40%. É norma de referência para verificar esta característica a EN 61034 que adoptou o texto da CEI 61034 e que veio substituir a norma EN 50268.

CABOS DE BAIXA TOXICIDADE DOS GASES LIBERTADOS - Low toxicity - (lt)

São cabos que, em situações de incêndio e em contacto directo com o fogo, libertam gases considerados de baixa toxicidade, particularmente com baixa concentração de halogéneos, de monóxido e dióxido de carbono.

À data não existe normalização Cenelec ou CEI para avaliar esta característica, embora seja possível encontrar normalização particular que define metodologias para a determinação de um índice de toxicidade. A determinação deste índice faz-se, habitualmente, por avaliação da concentração de um grupo de gases em 100 gr de material ardido. A concentração de cada gás é dividida pela concentração desse mesmo gás considerada letal ao fim de 30 minutos de exposição. Os gases avaliados são normalmente como referido, o monóxido e dióxido de carbono, os gases halogenados (ácido clorídrico, ácido brómico, ácido fluorídrico), entre outros.

É habitual avaliar esta característica de forma indirecta através da determinação do teor de halogéneos.

O teor médio de gases halogenados nos cabos convencionais de PVC é da ordem dos 25 a 30%, de acordo com a norma EN 50267-2-1. Para um material zero halogéneos o teor tem de ser sempre inferior a 0,5%.

CABOS DE BAIXA CORROSIVIDADE E CONDUTIVIDADE DOS GASES LIBERTADOS - Low acid - (la)

São cabos que, em situações de incêndio e em contacto directo com o fogo, libertam gases considerados não corrosivos e de baixa condutividade. Os gases e fumos libertados pelos cabos convencionais são prejudiciais aos equipamentos podendo danificá-los, mesmo quando estes não são atingidos directamente pelo fogo.

Os gases sendo corrosivos atacam quimicamente os metais, e ao infiltrarem-se, sobretudo nos equipamentos electrónicos, ocasionam camadas finas de depósitos condutores que os danificam. É o que acontece, por exemplo, nas placas de circuito impresso.

Classifica-se um cabo como sendo “(la)” quando de acordo com a mesma norma, o teor de halogéneos não ultrapassa os 0,5% e quando os fumos libertados apresentam um pH maior ou igual a 4,3 e uma condutividade igual ou inferior a 10 μ S/mm. Nos cabos convencionais, e em termos médios, a acidez dos gases libertados traduz-se por um pH menor do que 2 e uma condutividade maior do que 10 μ S/mm.

É norma de referência para verificar esta característica a EN 50267-2-2, equivalente à CEI 60754-2.

CABOS ISENTOS DE HALOGÉNEOS - Zero halogen - (zh)

Estão classificados como cabos “(zh)” todos os cabos que em situação de incêndio e em contacto directo com o fogo, libertam fumos pouco opacos “(ls)”, gases de baixa toxicidade “(lt)” e não corrosivos “(la)”.

PROPAGAÇÃO DO FOGO

a) CABOS RETARDANTES À CHAMA

São cabos que, quando isolados e em contacto directo com a chama, limitam a possibilidade de actuarem como elementos de propagação, extinguindo a chama após eliminado o foco de incêndio.

Esta característica é comum a praticamente todos os cabos de PVC.

É norma de referência para avaliar esta característica a EN 60332-1 que adoptou o texto da CEI 60332-1 tendo substituído a EN 50265.

b) CABOS RETARDANTES AO FOGO

São cabos que, em situações de incêndio e em contacto directo com o fogo, limitam a possibilidade de actuarem como elemento de propagação, quando colocados na vertical e em feixe, situação mais exigente e mais próxima do real, como é o caso das colunas montantes e das “corettes” técnicas de passagem de cabos entre pisos.

Pelo facto de um cabo não propagar a chama quando isolado, satisfazendo a norma EN 60332-1, não se pode inferir que, quando agrupado com outros cabos e colocado na vertical, condição que favorece a propagação do incêndio devido à ventilação existente (circulação de ar de baixo para cima, fenómeno por vezes referenciado como efeito de chaminé), mantenha esse comportamento. Isto porque a propagação da chama nestas condições, mais próximas do real, depende de vários factores:

- Volume de material combustível exposto ao fogo e a qualquer chama produzida pela combustão dos cabos
- A configuração geométrica dos cabos e a sua relação com a área onde estão instalados
- A temperatura a partir da qual é possível inflamar os gases emitidos pelos cabos
- A quantidade de gás combustível libertado pelos cabos para uma determinada temperatura
- O volume de ar que circula na área
- A construção do cabos, se armado ou não armado, se monocondutor ou multicondutor

É norma de referência para a avaliação deste comportamento a EN 50266, equivalente à CEI 60332-3.

RESISTÊNCIA AO FOGO

CABOS RESISTENTES AO FOGO

São cabos que, em situações de incêndio e em contacto directo com o fogo, se mantêm em serviço para alimentar sistemas eléctricos considerados prioritários, durante um certo período de tempo.

Este comportamento é avaliado pelas normas: CEI 60331-11 e CEI 60331-21.

Habitualmente, estes cabos (frs) são utilizados para a alimentação de circuitos de emergência.

6.2. SELECÇÃO DE CABOS

Tal como nos cabos convencionais, a escolha do tipo de cabo a utilizar numa determinada instalação, deve ser feita no total cumprimento das normas, directivas e regulamentos de segurança vigentes.

Além do total cumprimento com a Directiva de Baixa Tensão (LVD), existe um conjunto de normas europeias e internacionais de requisitos e ensaios que nos ajudam a enquadrar o tipo de cabo.

TABELA 6.1 - CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO AO FOGO PARA ALGUNS TIPOS DE CABOS

Comportamento	Baixa opacidade	Baixa toxicidade	Baixa corrosividade	Retardante à chama	Retardante ao fogo	Resistente ao fogo
Simbologia (NP 665)	(ls)	(lt)	(la)	-	(frt)	(frs)
		(zh)				
normas	CEI 61034	Em estudo	CEI 60754	CEI 60332-1	CEI 60332-3*	CEI 60331-21
	EN 61034	Em estudo	EN 50267	EN 60332-1	EN 50266-3*	-
cabos	VV	-	-	✓	-	-
	XV	-	-	✓	-	-
	VV (frt)	-	-	✓	✓	-
	XV (frt)	-	-	✓	✓	-
	XZ1 (frt,zh)	✓	✓	✓	✓	-
	XZ1 (frs,zh)	✓	✓	✓	✓	✓

* - Necessário definir categoria

frt - “fire retardant”, frs - “fire resistant”

✓ - Satisfaz

6.3. NORMALIZAÇÃO

A caracterização do comportamento dos cabos ao fogo nas suas várias vertentes é feita submetendo-os a testes específicos, descritos resumidamente abaixo:

MEDIÇÃO DA DENSIDADE DOS FUMOS LIBERTADOS PELOS CABOS EM CONDIÇÕES DE FOGO

EN 61034-1:2005, CEI 61034-1:2005, EN 60268-1*: 1999 (aparelhagem de ensaio)

“Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions- Part 1 – Test apparatus”

EN 61034-2:2005, CEI 61034-2:2005, EN 60268-2*: 1999 (procedimento de ensaio e prescrições)

“Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions- Part 2 – Test procedure and requirements”

* Substituída pela EN 61034.

APARELHAGEM DE ENSAIO

- Câmara de ensaio de 27m³
- Uma fonte de luz de 100 W
- Uma célula fotovoltaica
- Registador de transmitância luminosa/opacidade da célula
- Um queimador (recipiente metálico para colocar mistura inflamável à base de álcool)
- Estrutura de suporte de cabos
- Um ventilador

AMOSTRAS

Em função do seu diâmetro é preparado um determinado conjunto de amostras de cabo com 1m de comprimento, destinados ao ensaio.

PROCEDIMENTO DE ENSAIO

A câmara de ensaio é um cubo fechado com 3x3x3 m³, em que num dos lados está instalada uma fonte de luz e no lado oposto àquela está instalado um sensor fotométrico, constituído por uma célula fotovoltaica e um registador de transmitância. Entre estas duas paredes da câmara encontra-se a(s) amostra(s) a queimar e que produzirão o fumo. A câmara possui uma porta de acesso equipada com uma pequena janela de vidro para observação do curso do ensaio. É ligada a fonte de luz, a célula fotovoltaica e o registador de transmitância/opacidade, procedendo-se à calibração dos níveis de transmitância. Após estabilização do sistema óptico, é ligado o ventilador destinado a uniformizar a distribuição do fumo existente na câmara durante o ensaio. Depois, colocam-se as amostras na estrutura de suporte, e por baixo, a uma distância especificada, é colocado o recipiente com a mistura inflamável constituída por 90% de etanol, 4% de metanol e 6% de água destilada.

Provoca-se a inflamação da mistura e fecha-se a porta da câmara até a conclusão do ensaio que poderá ser após passados 40 minutos, ou quando não se verificar diminuição da transmitância luminosa durante um período de 5 minutos.

AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Considera-se que o cabo em questão passou o ensaio, se, após análise de todo o seu registo, não se verificar um nível de transmitância inferior a 60%.

DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE GÁS ÁCIDO HALOGENADO LIBERTADO DURANTE A COMBUSTÃO

EN 50267-1: 1998, CEI 60754-1: 1991 (aparelhagem de ensaio)

“Common test methods for cables under fire conditions – Test on gases evolved during combustion of materials from cables - Part 1: Apparatus.”

EN 50267-2-1: 1998, CEI 60754-1: 1991 (procedimento de ensaio e prescrições)

“Common test methods for cables under fire conditions – Test on gases evolved during combustion of materials from cables - Part 2: Procedures. Section 1: Determination of the amount of halogen acid gas.”

APARELHAGEM DE ENSAIO

- Forno tubular de 550 mm ± 50 mm de comprimento e 50 mm ± 10 mm de diâmetro
- Dispositivo de medição de caudal de gás
- Duas garrafas de filtragem, uma delas equipada com agitador magnético, as duas contendo uma solução de hidróxido de sódio (NaHO) a 0,1M
- Uma garrafa de ar comprimido

AMOSTRAS

0,5 a 1 g material proveniente do cabo (isolação, bainha, etc.)

PROCEDIMENTO DE ENSAIO

É ligado o forno a 800°C. Após estabilização é introduzido no forno um tubo de quartzo contendo a amostra a ensaiar. Inicia-se a contagem. O ensaio tem 20 minutos de duração. Os gases que se libertam durante o ensaio, são absorvidos por uma solução de NaHO (hidróxido de sódio) a 0,1M. A quantidade de gás ácido halogenado é determinada pela acidificação da solução com o HNO₃ (ácido nítrico) adicionando um volume conhecido de AgNO₃ (nitrato de prata) a 0,1M, titulando-se o excedente com uma solução de NH₄SCN (tiocianato de amónio) 0,1M utilizando como indicador uma solução de sulfato de ferro e amónio. O ensaio deverá ser repetido e deverá ser feito um ensaio em branco, isto é, sem qualquer amostra.

AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Após arrefecimento da aparelhagem de ensaio até à temperatura ambiente, são medidos 200 ml da solução que se encontra dentro da primeira garrafa de retenção do gás libertado e, utilizando uma pipeta, são adicionados 4ml de HNO₃ (ácido nítrico) concentrado, 20 ml de AgNO₃ (nitrato de prata) 0,1M e 3 ml de C₆H₅NO₂ (nitrobenzeno). A solução deverá ser bem misturada por forma a se obter uma precipitação completa do cloreto de prata. De seguida, adiciona-se 1 ml de uma solução aquosa de sulfato de ferro e amónio a 40% (indicador) e umas gotas de HNO₃ (ácido nítrico) 6M, mistura-se tudo até se obter uma solução homogénea. Depois a solução é titulada com uma solução de NH₄SCN (tiocianato de amónio) 0,1M e misturada utilizando um agitador magnético.

A quantidade de ácido halogenado, expressa em miligramas de HCl (ácido clorídrico) por grama de amostra ensaiada é:

$$\text{HCl}(\%) = (36,5 \times (\text{B}-\text{A}) \times \text{Mx}(1000/200))/\text{m}$$

Em que:

A – Volume da solução 0,1M de NH_4SCN utilizada na dosagem

B – Volume da solução 0,1M de NH_4SCN utilizada na dosagem do ensaio em branco

m – Massa da amostra utilizada no ensaio

M – Molaridade da solução de NH_4SCN

Esta norma não impõe requisitos. O ensaio permite determinar o teor de ácido halogenado de uma determinada amostra. No caso do conteúdo ser superior a 5 mg/g, ou seja, superior a 0,5 % da massa ardida, então o material em teste não se pode considerar isento de halogéneos.

Para os materiais isentos de halogéneos, e portanto, com um conteúdo inferior a 0,5 %, o método não conduz a resultados suficientemente precisos, sendo necessário utilizar o método descrito na secção 2 (EN 50267-2-2).

DETERMINAÇÃO DO GRAU DE ACIDEZ DOS GASES LIBERTADOS DURANTE A COMBUSTÃO POR MEDIÇÃO DO PH E DA CONDUTIVIDADE

EN 50267-1: 1998, CEI 60754-2: 1991 (aparelhagem de ensaio)

“Common test methods for cables under fire conditions – Test on gases evolved during combustion of materials from cables - Part 1: Apparatus.”

EN 50267-2-2: 1998, CEI 60754-2: 1991+A1: 1997 (procedimento de ensaio e prescrições)

“Common test methods for cables under fire conditions – Test on gases evolved during combustion of materials from cables - Part 2: Procedures. Section 2: Determination of degree of acidity of gases for materials by measuring pH and conductivity.”

APARELHAGEM DE ENSAIO

- Forno tubular de 170 mm
- Dispositivo de medição de caudal de gás
- Dois dispositivos de retenção de gás
- Uma garrafa de ar comprimido
- Medidor de pH
- Aparelho de medição de condutividade

AMOSTRAS

0,5 a 1 g de material proveniente do cabo (isolação, bainha, etc.)

PROCEDIMENTO DE ENSAIO

É ligado o forno a 750°C. Após estabilização é introduzido no forno um tubo de quartzo contendo a amostra a ensaiar. Inicia-se a contagem. O ensaio tem uma duração total de 25 minutos. Durante os primeiros 5 minutos, de combustão da amostra, são medidos os valores do pH e da condutividade dos gases libertados. Este procedimento é repetido de 5 em 5 minutos até perfazer um total de 30 minutos, duração total do ensaio.

AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Não há requisitos impostos, no entanto, recomenda-se como valores a obter para um material classificado como isento de halogéneos: pH maior ou igual a 4,3 e condutividade igual ou inferior a 10 $\mu\text{S}/\text{mm}$ (ambas características referidas a 1 litro de água).

Nota : Ainda no âmbito da determinação do pH e da condutividade existe ainda a EN 50267-2-3, que permite determinar uma média ponderada daqueles duas grandezas para vários materiais, seguindo no entanto a mesma metodologia de ensaio que a EN 50267-2-2.

DETERMINAÇÃO DO GRAU DE PROPAGAÇÃO VERTICAL DA CHAMA SOBRE UM CONDUTOR OU CABO ISOLADO

EN 60332-1-1: 2004 e CEI 60332-1-1: 2004, EN 50265-1*: 1998 (aparelhagem de ensaio)

EN 60332-1-2: 2004 e CEI 60332-1-2: 2004, EN 50265-2-1*: 1998 (procedimento de ensaio e prescrições)

* Substituída pela EN 60332-1.

APARELHAGEM DE ENSAIO

- Blindagem metálica com 1200 mm \pm 25 mm de altura, 300 mm \pm 25 mm de largura e 450 mm \pm 25 mm de profundidade, com a face da frente, a base e o topo abertos
- Fonte ignífera
- Recinto fechado, equipado com sistema de exaustão de fumos e isento de correntes de ar que possam afectar o desenrolar do ensaio
- Gás propano e oxigénio

AMOSTRAS

Um condutor ou cabo isolado com 600 mm \pm 25 mm de comprimento.

PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Após posicionar e fixar com dois suportes metálicos a amostra na vertical dentro da blindagem metálica, a fonte ignífera é calibrada e fixada, ficando a extremidade do cone azul da chama (cone interior) a uma distância de 475 mm \pm 5 mm do bordo inferior do suporte superior, e com uma inclinação de 45° \pm 2°. A duração do ensaio é função do diâmetro do condutor ou cabo isolado a ensaiar, podendo durar entre 1 e 8 minutos.

AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Considera-se o resultado do ensaio como positivo, se após a sua realização, e após a extinção de qualquer chama que possa ter existido, a distância medida entre o bordo inferior do suporte superior e o bordo superior da área queimada for maior que 50 mm.

DETERMINAÇÃO DO GRAU DE PROPAGAÇÃO VERTICAL DO FOGO SOBRE UM CONJUNTO DE CONDUTORES OU CABOS ISOLADOS

EN 50266-1:2001 e CEI 60332-3-10:2000 (aparelhagem de ensaio)

“Common test methods for cables under fire conditions- Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables. Part 1: Apparatus”

EN 50266-2-1/2/3/4/5: 2001 e CEI 60332-3-21/22/23/24/25: 2000 (procedimento de ensaio e prescrições)
"Common test methods for cables under fire conditions- Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables. Part 2-X: Category A/FR, B,C,D";

APARELHAGEM DE ENSAIO

- Escada/esteira metálica
- Fonte ignífera (queimador de 340 mm de largura)
- Câmara de ensaio, equipada com sistema de exaustão de fumos
- Gás propano e oxigénio
- Caudalímetros

AMOSTRAS

Um ou vários cabos, com 3 metros de comprimento. O número de amostras é calculado de modo a fazer o volume de material combustível especificado para cada categoria.

PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Após posicionar e fixar as amostras de cabo em feixe na escada metálica da câmara de ensaio, a fonte ignífera (queimador) é calibrada para o caudal de ar/propano especificado e colocado dentro da câmara de ensaio na posição pré-definida pela norma (em frente da escada). Fecha-se a porta da câmara e dá-se início à contagem. A duração da aplicação da chama poderá ser de 20 minutos ou 40 minutos, dependendo das diferentes classificações do cabo, sendo as mais utilizadas:

Categoria A (EN 50266-2-2 e CEI 60332-3-22) – 7 litros de volume de material não metálico por metro de cabo a ensaiar, os cabos são dispostos numa camada, colocados na esteira de forma espaçada (secção superior a 35 mm²), ou juntiva em uma ou mais camadas (secção igual ou inferior a 35 mm²). Aplicação da chama durante 40 minutos.

Categoria B (EN 50266-2-3 e CEI 60332-3-23) – 3,5 litros de volume de material não metálico por metro de cabo a ensaiar, os cabos são dispostos numa camada, colocados na esteira de forma espaçada (secção superior a 35 mm²), ou juntiva em uma ou mais camadas (secção igual ou inferior a 35 mm²). Aplicação da chama durante 40 minutos.

Categoria C (EN 50266-2-4, CEI 60332-3-24) – 1,5 litros de volume de material não metálico por metro de cabo a ensaiar, os cabos são dispostos numa camada, colocados na esteira de forma espaçada (secção superior a 35 mm²), ou juntiva em uma ou mais camadas (secção igual ou inferior a 35 mm²). Aplicação da chama durante 20 minutos.

Categoria D (EN 50266-2-5 e CEI 60332-3-25) – 0,5 litros de volume de material não metálico por metro de cabo a ensaiar, os cabos são dispostos numa ou mais camadas de forma juntiva. Este método é aplicável a cabos de dimensões reduzidas, com diâmetros inferiores a 12 mm. Aplicação da chama durante 20 minutos.

AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Considera-se o resultado do ensaio satisfatório, se após a sua realização, se verificar a autoextinção de qualquer chama que possa ter existido num período não superior a uma hora, e se, a distância medida entre o limite inferior do queimador e o limite superior de cabo ardido, não superar 2,5 m.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO SOBRE UM CONDUTOR OU CABO ISOLADO SOB TENSÃO

CEI 60331-11:1999 (aparelhagem de ensaio)

"Test for electric cables under fire conditions- Circuit integrity- Part 11: Apparatus-Fire alone at flame temperature of at least 750°C"

CEI 60331-21:1999 (procedimento de ensaio e prescrições)

"Test for electric cables under fire conditions- Circuit integrity: Part 21: Procedures and requirements- Cables of rated voltage up to and including 0,6/1kV."

APARELHAGEM DE ENSAIO

- Suporte metálico
- Fonte ignífera (queimador de 500 mm de largura)
- Sistema de exaustão de fumos
- Gás propano e oxigénio
- Caudalímetros

AMOSTRAS

Um cabo com cerca de 1,2 m de comprimento.

PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Após posicionar e fixar a amostra de cabo no suporte metálico, são realizadas as ligações eléctricas conforme os requisitos estipulados na norma, por forma a garantir, à tensão estipulada do cabo, uma corrente não inferior a 0,25A por cada condutor de fase. O circuito é protegido por fusível ou disjuntor de 2A. A fonte ignífera (queimador) é calibrada para o caudal de ar/propano pretendido, por forma a garantir 750°C de temperatura de ensaio. Seguidamente, coloca-se o queimador na posição pré-definida pela norma, e dá-se início à contagem. O cabo mantém-se em tensão durante 105 minutos, os primeiros 90 minutos sob acção da chama do queimador, e os 15 minutos seguintes com o queimador desligado.

AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Considera-se o resultado do ensaio como positivo, se se verificar que o cabo suportou os 105 minutos de duração, sem quebra de serviço, isto é, sem entrar em curto-circuito, mantendo-se sob tensão e continuando a alimentar a carga.

7. INSTALAÇÃO

7.1 ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE

Os cabos são habitualmente fornecidos em bobinas de madeira, em rolos se os comprimentos e secções são pequenos, protegidos por fita plástica aderente e no caso dos cabos isolados sem bainha, até às secções de 6 mm², em pequenos rolos (peças) de 100 m a 200 m de comprimento, embalados em caixas de cartão.

As dimensões das bobinas são dependentes do comprimento do cabo, do seu peso e do seu diâmetro de enrolamento. Relativamente ao diâmetro de enrolamento do cabo convém referir que não corresponde ao dobro do raio de curvatura na instalação, já que, neste último caso, são tidos em conta outros aspectos como, por exemplo, o facto do cabo estar a ser traccionado. O cabo não deverá ser enrolado em bobinas com um diâmetro de tambor inferior ao diâmetro de enrolamento definido.

Nas **TABELAS 7.1** e **7.2** indicam-se os diâmetros de enrolamento que devem ser respeitados para os cabos de baixa tensão da gama descrita neste catálogo.

TABELA 7.1 - ACONDICIONAMENTO EM BOBINA

Tipo de cabo	Diâmetro mínimo do tambor da bobina (mm)
Armado	25xd para cabos com condutores de alumínio sólidos (LS...); 20xd para os restantes
Não armado, monocondutor	25xd para cabos com condutor de alumínio sólido (LS...); 20xd para os restantes
Não armado, multicondutor	20xd para cabos com condutores de alumínio sólidos (LS...); 15xd para os restantes

d (mm) – Diâmetro exterior do cabo

TABELA 7.2 - ACONDICIONAMENTO EM ROLO

Tipo de cabo	Diâmetro mínimo de enrolamento em rolos (mm)
Armado	24xd
Não armado, monocondutor	30xd
Não armado, multicondutor	24xd

d (mm) – Diâmetro exterior do cabo

Dependendo do diâmetro do cabo e do seu peso, bem como das características da bobina poder-se-ão acondicionar algumas centenas de metros ou alguns quilómetros de cabo.

O acondicionamento do cabo na bobina deve ser feito de forma a garantir uma guarda (espaço livre entre a extremidade da aba e a última espira de cabo) de cerca de 10 cm. Deste modo garante-se um maior nível de segurança para o cabo nas operações de armazenamento, transporte e instalação, evitando que o cabo roce o solo ou seja danificado aquando do manuseamento da bobina.

Quando não for possível garantir um armazenamento e transporte em condições secas, as pontas dos cabos devem ser seladas, através da aplicação de capas termoretrácteis que evitam a penetração da água naquelas áreas expostas.

As pontas interiores e exteriores devem ser fixadas convenientemente à bobina de forma a não se desprenderem durante o transporte.

Em muitas situações as bobinas são enripadas, ou seja, fechadas com ripas de madeira. Esta prática proporciona uma protecção mecânica adicional ao cabo, além de o proteger da radiação solar, o que só será necessário para cabos com bainhas coloridas (não pretas) sem aditivos especiais anti-uv.

Quando as bobinas não se encontram enripadas e ficam armazenadas em estaleito ao ar livre e expostas à radiação solar, torna-se por vezes necessário proteger o cabo com um plástico ou cartão. Esta prática deve ser seguida nos casos dos cabos ignífugos, normalmente com bainhas de cor verde ou laranja.

No estaleiro ou armazém, as bobinas devem permanecer calçadas de modo a evitar deslocamentos indesejados.

MANUSEAMENTO DAS BOBINAS

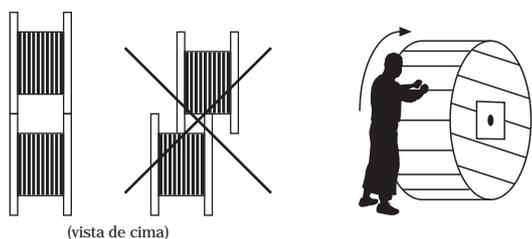
No manuseamento das bobinas devem ser tomados os cuidados necessários para evitar danos ao cabo ou a pessoas que se encontrem na área. Deve ser dada particular atenção ao peso da bobina, ao sentido de enrolamento e ao método de a levantar nas operações de colocação ou remoção do veículo de transporte.

O estado das bobinas deve ser verificado após transporte e regularmente durante o período de armazenagem. Se a bobina apresentar sinais de desgaste, madeira podre, ou outros, dever-se-ão tomar medidas de segurança adicionais no seu manuseamento, sendo recomendável fazer a passagem do cabo para uma outra bobina.

O seu transporte e armazenagem deve ser realizado com o seu eixo na horizontal. A sobreposição de bobinas só poderá ser realizada aba com aba.

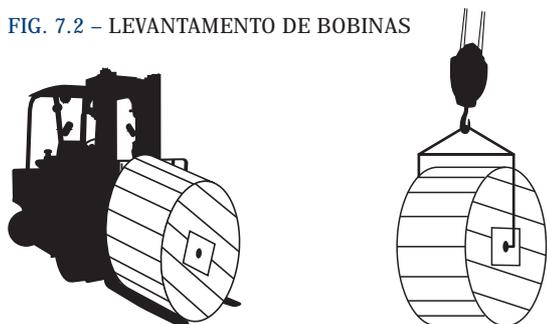
As bobinas não devem ser roladas e, se isto acontecer, só para pequenas distâncias sobre um chão plano e no sentido indicado pela seta existente nas abas da mesma.

FIG. 7.1 – PRÁTICAS PARA O TRANSPORTE DE BOBINAS



O descarregamento da bobina deve ser realizado através da colocação de uma rampa, acautelando algum movimento indesejado da mesma, ou através de empilhador, ou braço mecânico (grua) capaz de levantá-la e de depositá-la no solo através da utilização de uma linga que é introduzida no orifício central da bobina.

FIG. 7.2 – LEVANTAMENTO DE BOBINAS



DESENROLAMENTO

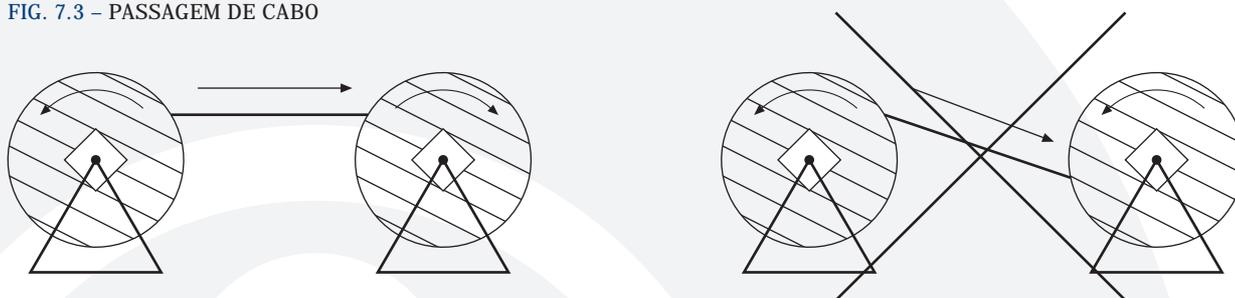
O desenrolamento deve ser realizado rodando a bobina sobre o seu eixo horizontal através da utilização de equipamento próprio para o efeito ou, na falta deste, através de um eixo colocado no seu orifício central apoiado num suporte, tipo cavalete.

Durante o desenrolamento a ponta interior da bobina deve manter-se fixa à estrutura da bobina. O cabo deve ser desenrolado a partir do topo da bobina. Isto é conseguido colocando a bobina de maneira a que a seta existente nas abas, e que indica o sentido de enrolamento do cabo, se situe na direcção contrária ao desenrolamento.

Se o sentido não for respeitado, as espiras ficam soltas dificultando ou impossibilitando o desenrolamento.

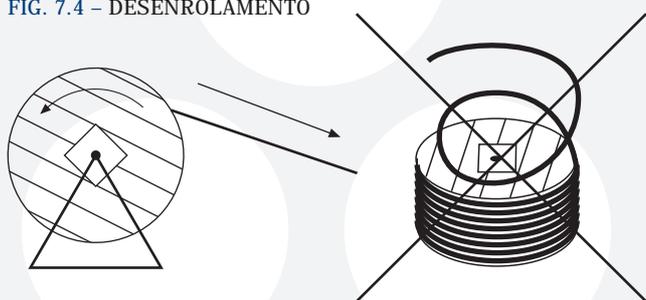
A passagem de um cabo de uma bobina para outra deve ser conduzido de acordo com o ilustrado na FIG. 7.3

FIG. 7.3 – PASSAGEM DE CABO



Os rolos de cabos devem ser transportados na horizontal e desenrolados movimentando a ponta exterior no sentido contrário ao do enrolamento. Em caso algum se deve desenrolar retirando as espiras na vertical.

FIG. 7.4 – DESENROLAMENTO



INSTALAÇÃO

A instalação de um cabo não deverá degradar nenhuma das suas características. Deve ser realizada por pessoal qualificado para o efeito e respeitar a regulamentação aplicável. Neste contexto devem ser tomadas em consideração:

- a) As condições de operação
 - Temperatura ambiente
 - Número e disposição dos condutores (esteira, juntiva ou não; triângulo)
 - Proximidade de fonte externa de calor
 - Resistividade térmica do solo
 - Radiação solar
 - Influência de outros cabos
 - Tensão mecânica (pressão, tracção, rasgamento, vibração)
 - Contactos com substâncias químicas (solventes)
- b) Correntes de fuga ou corrosão
- c) Movimentos do solo
- d) Procedimento de instalação

TIPOS DE INSTALAÇÃO

Os cabos podem ser instalados no exterior: directamente enterrados no solo, entubados ou metidos em caleiras, e podem ser instalados no interior de edifícios, embebidos na parede e nos tectos, à vista, em paredes ou em tecto usando calhas, escadas e consolas.

CONDIÇÕES GERAIS DE INSTALAÇÃO

As operações de instalação devem ser realizadas com cuidado de modo a não danificarem o cabo: este nunca deve ser arrastado em zonas onde haja objectos pontiagudos ou cortantes e pedras afiadas. Devem-se respeitar os raios de curvatura mínimos na instalação indicados pelo fabricante.

Quando se dobra o cabo apenas uma vez, por exemplo, imediatamente antes de uma ponta para ligação, e desde que se sigam os procedimentos adequados, ou seja, se aqueça previamente a 30°C aquela zona do cabo e se dobre sobre uma ferramenta apropriada, os valores do raio de curvatura podem ser reduzidos até 50% dos especificados.

O sistema de desenrolamento deve estar equipado com um freio, de modo a tornar possível a sua paragem repentina, mas por vezes necessária.

Pequenos comprimentos de cabo podem ser desenrolados à mão, havendo o cuidado de não tirar as voltas na vertical.

Os cabos não devem ser instalados quando se encontrarem a temperaturas inferiores a -5°C. Nestes casos os cabos devem ser aquecidos antes da instalação.

Se durante a instalação (exterior) for necessário cortar o cabo, as pontas devem voltar a ser seladas antes de se prosseguir com a instalação.

A tracção dos cabos nas operações de instalação, quando são puxados em valas ou condutas, deve ser realizada através de equipamentos de tracção apropriados. Em pequenos troços, de alguns metros, é frequente serem puxados à mão.

Os equipamentos de tracção devem estar dotados de meios que permitam controlar a tensão aplicada de modo a não ser ultrapassado o valor máximo estabelecido pelo fabricante, para cada tipo de cabo e consoante o método de instalação.

· TRACÇÃO POR CABEÇA OU MANGA SOBRE O CONDUTOR

$$T_{\text{máx}}(N) = S \times \sigma$$

Em que:

S (mm²) – Secção total dos condutores (as secções das blindagens, condutores concêntricos e armaduras não devem ser consideradas no cálculo)

σ (N/mm²) - A tensão correspondente a um alongamento máximo do condutor de 0,2% (50 para o cobre e 30 para o alumínio)

· MANGA SOBRE A BAINHA EXTERIOR DO CABO

$$T_{\text{máx}}(N) = 3 d^2$$

Em que:

d (mm) - Diâmetro do cabo

No caso de três cabos monocondutores agrupados, a força de tracção máxima não deve exceder três vezes a tensão máxima permitida para cada cabo, se os cabos estão cableados entre si, e duas vezes para três cabos agrupados em esteira.

Na instalação deve-se ter o cuidado de deixar comprimento de cabo suficiente para as operações de ligação.

CABOS MONOCONDUTORES

Os cabos monocondutores em sistemas de corrente alternada não devem ser armados com materiais magnéticos devido às perdas consideráveis na armadura que fazem reduzir a sua capacidade de transporte. Pela mesma razão não devem ser instalados isoladamente em tubos de ferro ou aço (1 cabo por tubo), assim como não devem ser presos individualmente com braçadeiras metálicas.

A instalação de cabos monocondutores pode ser realizada por um dos processos abaixo indicados:

- Instalação de cada cabo individualmente e em sequência
- Instalação simultânea dos vários cabos a partir das bobinas respectivas
- Instalação dos cabos previamente cableados (torçada)

INSTALAÇÃO DE CABOS NO SOLO

As canalizações devem estar protegidas contra deteriorações causadas pelo abatimento de terras, contacto com corpos duros, ou de arestas vivas, ou com substâncias químicas provenientes de componentes do solo.

PROFUNDIDADE DE COLOCAÇÃO

A profundidade da vala é dependente do número de cabos a instalar. Deve ser mantida uma distância mínima entre a superfície do solo e o cabo colocado mais acima de 0,6 m e, no caso de travessias de estradas, esta distância deverá aumentar para 1 m e numa extensão de 50 cm para cada lado dessas vias.

Quando, por força das circunstâncias, os cabos tiverem que ser instalados a menores profundidades, então devem ser usadas protecções adicionais como placas de betão ou fibrocimento, sempre que haja probabilidade de danificação da instalação por cargas móveis.

LARGURA DA VALA

A largura da vala deverá, por razões óbvias de custo e de logística, ser o mais estreita possível. Habitualmente, uma largura de 0,5 m será o suficiente, mas estará sempre dependente do número de cabos a instalar.

SINALIZAÇÃO

Quando os cabos são enterrados directamente no solo é obrigatório a utilização de um dispositivo avisador, colocado acima destes pelo menos 0,10 m, constituído por redes metálicas ou plásticas, tijolos, placas de lousa ou de betão.

COLOCAÇÃO DE VÁRIOS CIRCUITOS

A colocação de vários circuitos de cabos numa mesma vala, caleira, ou tubo, deve ser realizada tendo em consideração a redução da capacidade de transporte com o aumento do número de cabos e com a redução da distância entre eles, e com o facto de que, quanto maior for a densidade de cabos, maior a dificuldade em realizar futuras intervenções.

Na colocação de vários sistemas de cabos deve haver o cuidado de os espaçar de forma a permitir a libertação do calor gerado e de forma a reduzir as induções mútuas entre sistemas; em traçados paralelos é recomendável uma distância entre sistemas de 20 cm e no cruzamento com outras canalizações é necessário instalar os cabos deixando um espaço livre, tanto na vertical como na horizontal, no mínimo de 20 cm.

No caso das canalizações eléctricas seguirem o mesmo traçado das canalizações de telecomunicações é necessário manter uma distância mínima entre elas de 0,5 m. Traçados com paralelismos longos devem ser alvo de uma análise mais cuidada, de modo a determinar-se o nível de eventuais interferências.

Quando, numa mesma vala, há partilha de canalizações de baixa, média ou alta tensão, os cabos de alta ou média tensão devem ser colocados na parte inferior, envoltos em areia e cobertos com blocos de protecção, e por cima desta camada areia e só então os cabos de baixa tensão.

Os procedimentos de instalação no caso de cruzamento ou paralelismo de canalizações eléctricas com canalizações de água, gás, caminhos de ferro, etc..., vizinhança de suportes de linhas aéreas, ou de transporte público, devem obedecer a regulamentação própria estabelecida pelas entidades respectivas.

No cruzamento de estradas os cabos devem ser instalados em tubos enterrados.

PASSAGEM EM TUBOS

Sempre que possível, cada circuito de cabos deve ser instalado num tubo distinto.

O diâmetro do tubo deverá permitir um enfiamento ou remoção do cabo com relativa facilidade. O seu diâmetro deverá ser escolhido em função do diâmetro e número de cabos a passar, devendo cumprir os valores mínimos:

- Se um cabo por tubo: 1,5 vezes o diâmetro exterior do cabo
- Se um terno por tubo: 2,8 vezes o diâmetro exterior do cabo

Os tubos mais correntes são os de plástico (PVC ou Polietileno), mas também poderão ser em aço ou ferro fundido quando se pretender um reforço mecânico da canalização.

Os tubos que não são ocupados devem ser selados.

Na entrada do tubo e antes do enfiamento do cabo deve ser realizada uma pequena depressão de modo a filtrar algumas pedras ou lixo que o cabo possa trazer.

O tubo deve respeitar os raios de curvatura estabelecidos para o cabo ou cabos que irá alojar.

No primeiro caso, especial atenção deve ser dada à instalação do segundo e terceiro cabos de modo a que a passagem destes não vá danificar os que já estão instalados.

INSTALAÇÃO DE CABOS NO INTERIOR

Os cabos são fixos a paredes ou ao tecto com a ajuda de braçadeiras e/ou colocados sobre esteiras, escadas, calhas, consolas, etc... Os pontos de fixação devem cumprir as seguintes distâncias máximas:

- Na horizontal: 20 x o diâmetro exterior dos cabos, mas não mais de 80 cm
- Na vertical: 150 cm para cabos presos nas paredes

No caso de sistemas de cabos monocondutores não devem ser usadas braçadeiras metálicas para os prender individualmente.

Durante a fase de planeamento devem ser tomados em consideração: o espaço entre cabos e suportes, a resistência mecânica dos suportes, a corrente máxima a transmitir, o peso dos cabos e raios de curvatura admissíveis.

Deve haver a preocupação de colocar as calhas, esteiras, etc... com espaçamento suficiente para permitir um fácil acesso e boa ventilação, sendo recomendável uma distância mínima vertical de 30 cm entre caminhos de cabos e uma distância mínima horizontal de 22,5 cm.

COLOCAÇÃO EM TÚNEIS (CONDUTAS)

A maior vantagem de colocar os cabos em túneis é o fácil acesso e a possibilidade de evolução sem grandes complicações. No entanto este sistema é caro. Em túneis acessíveis os cabos são montados em calha. Em casos que se justifique, as condutas devem possuir barreiras anti-fogo.

ARRANJO DE CABOS

O agrupamento e arranjo dos cabos tem uma importância determinante na capacidade de transporte.

Quando um cabo monocondutor transporta corrente gera em seu torno um campo magnético que irradia e que vai alterar a impedância dos cabos adjacentes. Se a configuração não for correcta gera-se um desequilíbrio de impedância e os condutores deixam de ser percorridos pela mesma corrente.

Se existirem, por exemplo, dois circuitos trifásicos constituídos por 6 cabos monocondutores é importante que a indutância de cada um deles seja o mais próxima possível para que haja uma distribuição uniforme de corrente. Os desequilíbrios de indutância manifestam-se mais quando o arranjo é em esteira. A disposição dos cabos deve ser realizada de forma a que a distância entre sistemas seja maior do que a distância entre cabos de um mesmo sistema, habitualmente o dobro.

A obtenção de um sistema simétrico é melhor conseguida com os cabos tripolares em que há uma uniformidade na disposição dos condutores entre si, devido ao cableamento dos condutores isolados.

Além da distância entre condutores, a sequência de fases também tem que ser tomada em consideração. Na colocação de cabos em paralelo deve-se ainda garantir que os cabos tenham comprimentos iguais e que os traçados se mantenham paralelos. A colocação de cabos em paralelo utilizando cabos monocondutores não deve ser feita colocando os cabos de uma mesma fase agrupados lado a lado, mas sim dispo-los como se tratassem de diferentes circuitos.

Dependendo do número de sistemas recomenda-se a seguinte sequência :

- L₁L₂L₃ L₃L₂L₁ L₁L₂L₃ L₃L₂L₁ etc...

Com este arranjo as indutâncias dos cabos em paralelo de uma mesma fase são aproximadamente iguais. Contudo, as indutâncias das fases L₁, L₂, L₃ diferem entre si, mas este aspecto é menos gravoso do que o desequilíbrio entre os cabos de uma mesma fase.

Nunca deve ser usada a sequência : L₁L₂L₃ L₁L₂L₃ L₁L₂L₃, uma vez que isto resulta não só num sistema desequilíbrio de indutâncias entre fases, como dos cabos de uma mesma fase em paralelo.

Em instalações em calha ou esteira, os cabos da mesma fase não devem ser colocados lado a lado, mas em diferentes plataformas. No mesmo tabuleiro deverá ficar um outro sistema na seguinte configuração:

- L₁L₂L₃ L₃L₂L₁
- L₁L₂L₃ L₃L₂L₁
- L₁L₂L₃ L₃L₂L₁, etc

Com este arranjo as indutâncias dos cabos em paralelo são sensivelmente iguais, embora as indutâncias das fases sejam diferentes, o que não é problemático desde que as distâncias sejam curtas.

Quando se colocam cabos em triângulo juntivo é vantajoso fazer uma rotação das fases:

- L₂ L₂ L₂
- L₁ L₃ L₃ L₁ L₁ L₃

Não se recomenda a instalação de cabos em triângulo juntivo em tabuleiros sobrepostos, já que a as indutâncias dos cabos em paralelo apresentam diferenças significativas.



8.1 CORRENTES ADMISSÍVEIS NOS CONDUTORES ISOLADOS E CABOS

Na TABELA 8.1 são indicados os valores das correntes máximas admissíveis, consideradas em regime permanente, para vários tipos de instalação. Os valores das correntes aplicam-se para os cabos incluídos na gama Cabelte, bem como para todos os cabos para utilização a tensões nominais não superiores a 1 kV em corrente alternada a 50Hz ou a 1,5 kV em corrente contínua, construídos de acordo com as normas HD 603, CEI 60502-1, NP HD 21.3, NP HD 21.4, NP HD 21.5.

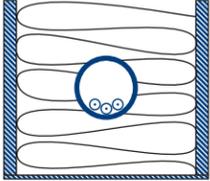
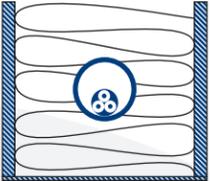
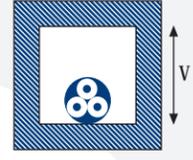
Os valores indicados na tabela também são aplicáveis aos:

- . cabos armados; no caso de cabo multicondutor, desde que possua todos os condutores do circuito, e no caso de monocondutor, desde que a armadura seja amagnética,
- . cabos com condutor concêntrico ou blindagem
- . canalizações em corrente contínua.

Condições gerais para canalizações enterradas: Temperatura do solo = 20°C; Profundidade de colocação = 0,7 a 1,0 m; Resistividade térmica do solo = 1 K.m/W; Sem migração de humidade

Condições gerais para canalizações não enterradas: Temperatura ambiente = 30°C; Protegido da radiação solar

TABELA 8.1 – CORRENTES ADMISSÍVEIS

Tipo de instalação	Tipo de cabo	Número de condutores carregados	Secção nominal dos condutores (mm ²)																		
			1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630
Condutores isolados Em tubos embebidos em elementos da construção termicamente isolantes Método de referência A	 Condutores: Cobre Isolação: PVC Ex: H07V-U/R/K,	2	14,5	19,5	26	34	46	61	80	99	119	151	182	210	240	273	320	367			
		3	13,5	18,0	24	31	42	56	73	89	108	136	164	188	216	245	286	328			
Cabos multicondutores Em tubos embebidos em elementos da construção termicamente isolantes Método de referência A2	 Condutores: Cobre Isolação: PVC Ex: VV	2	14	18,5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	192	219	248	291	334			
		3	13	17,5	23	29	39	52	68	83	99	125	150	172	196	223	261	298			
	Condutores: Alumínio Isolação: PVC Ex: LVV	2					33	44	58	71	86	108	130	150	172	195	229	263			
		3					31	41	53	65	78	98	118	135	155	176	207	237			
	Condutores: Cobre Isolação: XLPE Ex: XV	2	18,5	25	33	42	57	76	99	121	145	183	220	253	290	329	386	442			
		3	16,5	22	30	38	51	68	89	109	130	164	197	227	259	295	346	396			
	Condutores: Alumínio Isolação: XLPE Ex: LXV	2					45	60	78	96	115	145	175	201	230	262	307	352			
		3					41	55	71	87	104	131	157	180	206	233	273	313			
Condutores isolados Em tubos, embebidos nos elementos da construção, Em tubos montados à vista Método de referência B	 Condutores: Cobre Isolação: PVC Ex: H07V-U/R/K	2	17,5	24	32	41	57	76	101	125	151	192	232	269							
		3	15,5	21	28	36	50	68	89	110	134	171	207	239							
Cabos mono ou multicondutores Em ocos de construção, em tectos falsos ou suspensos $5d \leq V \leq 50d$ (1) Em calças abertas ou ventiladas Em calhas(2) fixadas a elementos da construção, embebidas nas paredes ou nos pavimentos, em percursos horizontais ou verticais em calhas de rodapé Método de referência B	 Condutores: Cobre Isolação: PVC Ex: VV	2	17,5	24	32	41	57	76	101	125	151	192	232	269							
		3	15,5	21	28	36	50	68	89	110	134	171	207	239							
	Condutores: Alumínio Isolação: PVC Ex: LVV	2					44	60	79	97	118	150	181	210							
		3					39	53	70	86	104	133	161	186							
	Condutores: Cobre Isolação: XLPE Ex: XV	2	23	31	42	54	75	100	133	164	198	253	306	354							
		3	20	28	37	48	66	88	117	144	175	222	269	312							
	Condutores: Alumínio Isolação: XLPE Ex: LXV	2				59	79	105	130	157	200	242	281								
		3				52	71	93	116	140	179	217	251								

Nota:

d- Diâmetro exterior do cabo.

V- E a menor dimensão ou o diâmetro do oco ou a dimensão vertical do bloco alveolar do oco do pavimento ou do tecto.

(1) Para $V > 50d$ devem ser usados os métodos de referência C, E ou F.

(2) - Os valores de correntes admissíveis são indicados para um único circuito. Quando houver mais do que um circuitosistema devem ser aplicados os factores de correcção indicados, mesmo se houver divisórias ou separadores. Estes valores são aplicáveis apenas a cabos monocondutores, no caso dos cabos multicondutores aplicar método B2.

Tipo de instalação	Tipo de cabo	Número de condutores carregados	Secção nominal dos condutores (mm ²)																						
			1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630				
<p>Condutores isolados</p> <p>Em condutas em ocos da construção $1,5d_e \leq V \leq 20d_e$</p> <p>Em condutas não circulares embebidas durante a construção dos edifícios $1,5d_e \leq V \leq 5d_e$</p> <p>Método de referência B2</p>		<p>Condutores: Cobre Isolação: PVC Ex: H07V-U/R/K</p>	2	16,5	23	30	38	52	69	90	111	133	168	291	232										
			3	15	20	27	34	46	62	80	99	118	149	179	206										
<p>Cabos mono ou multicondutores</p> <p>em ocos de construção $1,5d \leq V \leq 5d$</p> <p>em tectos falsos ou suspensos $1,5d \leq V \leq 5d$</p> <p>Em calhas(3) fixadas a elementos da construção, embebidas nas paredes ou nos pavimentos, em percursos horizontais ou verticais em calhas de rodapé</p> <p>Método de referência B2</p>		<p>Condutores: Cobre Isolação: PVC Ex: VV</p>	2	16,5	23	30	38	52	69	90	111	133	168	291	232										
			3	15	20	27	34	46	62	80	99	118	149	179	206										
		<p>Condutores: Alumínio Isolação: PVC Ex: LVV</p>	2					41	54	71	86	104	131	157	181										
			3						36	48	62	77	92	116	139	160									
		<p>Condutores: Cobre Isolação: XLPE Ex: XV</p>	2	22	30	40	51	69	91	119	146	175	221	265	305										
			3	19,5	26	35	44	60	80	105	128	154	194	233	268										
		<p>Condutores: Alumínio Isolação: XLPE Ex: LXV</p>	2						54	72	94	115	138	175	210	242									
			3							48	64	84	103	124	156	188	216								
<p>Cabos mono ou multicondutores</p> <p>Fixados às paredes, aos tectos(4) ou em caminhos de cabos não perfurados</p> <p>Método de referência C</p>		<p>Condutor: Cobre Isolação: PVC VV</p>	2	19,5	27	36	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	530						
			3	17,5	24	32	41	57	76	96	119	144	184	223	259	299	341	403	464						
		<p>Condutor: Alumínio Isolação: PVC LVV</p>	2						49	66	83	103	125	160	195	226	261	298	352	406					
			3							44	59	73	90	110	140	170	197	227	259	305	351				
		<p>Condutor: Cobre Isolação: XLPE Ex: XV</p>	2	24	33	45	58	80	107	138	171	209	269	328	382	441	506	599	693						
			3	22	30	40	52	71	96	119	147	179	229	278	322	371	424	500	576						
		<p>Condutores: Alumínio Isolação: XLPE Ex: LXV</p>	2						62	84	101	126	154	198	241	280	324	371	439	508					
			3							57	76	90	112	136	174	211	245	283	323	382	440				

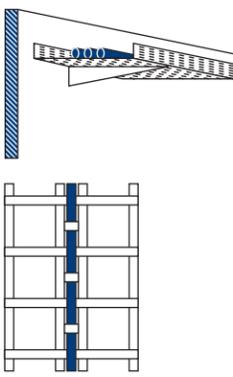
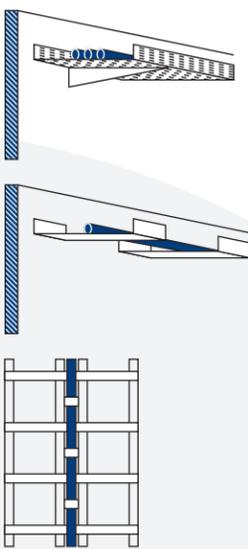
Nota:

d- Diâmetro exterior do cabo.

V- É a menor dimensão ou o diâmetro do oco ou a dimensão vertical do bloco alveolar do oco do pavimento ou do tecto.

(3) - Aplicável a cabos multicondutores.

(4) - Para os cabos instalados no tecto, os valores indicados na tabela devem ser corrigidos, multiplicando-os por 0,95.

Tipo de instalação		Tipo de cabo	Número de condutores carregados	Secção nominal dos condutores (mm ²)																							
				1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630					
Cabos multicondutores Em caminhos de cabos perfurados, em consolas, em escadas ⁽⁵⁾ fixados por abraçadeiras e afastados dos elementos da construção Método de referência E		Condutores: Cobre Isolação: PVC Ex: VV,	2	22	30	40	51	70	94	119	148	180	232	282	328	379	434	514	593								
			3	18,5	25	34	43	60	80	101	126	153	196	238	276	319	364	430	497								
		Condutores: Alumínio Isolação: PVC Ex: LVV	2					54	73	89	111	135	173	210	244	282	322	380	439								
			3					46	61	78	96	117	150	182	212	245	280	330	381								
		Condutores: Cobre Isolação: XLPE Ex: XV	2	26	36	49	63	86	115	149	185	225	289	352	410	473	542	641	741								
			3	23	32	42	54	75	100	127	158	192	246	298	346	399	456	538	621								
		Condutores: Alumínio Isolação: XLPE Ex: LXV	2					67	91	108	135	164	211	257	300	346	397	470	543								
			3					58	77	97	120	146	187	227	263	304	347	407	471								
		Cabos monocondutores⁽⁶⁾ Em caminhos de cabos perfurados, em consolas, em escadas, fixados por abraçadeiras e afastados dos elementos da construção Método de referência F, G		Conductor: Cobre Isolação: PVC Ex: VV 1x	2 ⊙								131	162	196	251	304	352	406	463	546	629	754	868	1005		
					3 ⊙										110	137	167	216	264	308	356	409	485	561	656	749	855
					3 ⊙⊙										114	143	174	225	275	321	372	427	507	587	689	789	905
					3 ⊙⊙⊙										146	181	219	281	341	396	456	521	615	709	852	982	1138
3 ⊙ ⊙ ⊙													130	162	197	254	311	362	419	480	569	659	795	920	1070		
Conductor: Alumínio Isolação: PVC Ex: LVV 1x	2 ⊙												98	122	149	192	235	273	316	363	430	497	600	694	808		
	3 ⊙												84	105	128	166	203	237	274	315	375	434	526	610	711		
	3 ⊙⊙												87	109	133	173	212	247	287	330	392	455	552	640	746		
	3 ⊙⊙⊙												112	139	169	217	265	308	356	407	482	557	671	775	900		
	3 ⊙ ⊙ ⊙												99	124	152	196	241	282	327	376	447	519	629	730	852		
Conductor: Cobre Isolação: XLPE Ex: XV 1x	2 ⊙												161	200	242	310	377	437	504	575	679	783	940	1083	1254		
	3 ⊙												135	169	207	268	328	383	444	510	607	703	823	946	1088		
	3 ⊙⊙												141	176	216	279	342	400	464	533	634	736	868	998	1151		
	3 ⊙⊙⊙												182	226	275	353	430	500	577	661	781	902	1085	1253	1454		
	3 ⊙ ⊙ ⊙												161	201	246	318	389	454	527	605	719	833	1008	1169	1362		
Conductor: Alumínio Isolação: XLPE Ex: LXV 1x	2 ⊙												121	150	184	237	289	337	389	447	530	613	740	856	996		
	3 ⊙												103	129	159	206	253	296	343	395	471	547	663	770	899		
	3 ⊙⊙												107	135	165	215	264	308	358	413	492	571	694	806	942		
	3 ⊙⊙⊙												138	172	210	271	332	387	448	515	611	708	856	991	1154		
	3 ⊙ ⊙ ⊙												122	153	188	244	300	351	408	470	561	652	792	921	1077		

Nota:
 (5) - Os valores de correntes admissíveis podem também ser usados para percursos verticais, quando as condições de ventilação forem limitadas a temperatura na parte superior do percurso vertical pode tornar-se muito elevada.
 (6) - Nos casos em que os cabos monocondutores se encontram afastados os valores de correntes admissíveis foram calculados admitindo um afastamento maior ou igual ao diâmetro exterior do cabo monocondutor.

Tipo de instalação		Tipo de cabo	Número de condutores carregados	Secção nominal dos condutores (mm ²)																		
				1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630
Canalizações enterradas Cabos monocondutores e multicondutores		Condutor: Cobre Isolação: PVC Ex: VAV, V1AV 1x, VV	2	32	42	54	67	90	116	148	178	211	261	308	351	397	445	514	581			
			3	26	34	44	56	74	96	123	147	174	216	256	290	328	367	424	480			
		Condutor: Alumínio Isolação: PVC Ex: LVAV, LV1AV 1x, LVV	2					68	88	114	137	161	200	237	270	304	343	396	447			
			3					57	74	94	114	134	167	197	224	254	285	328	371			
		Condutor: Cobre Isolação: XLPE Ex: XAV, X1AV 1x, XV	2	37	48	63	80	104	136	173	208	247	304	360	410	463	518	598	677			
			3	31	41	53	66	87	113	144	174	206	254	301	343	387	434	501	565			
	Condutor: Alumínio Isolação: XLPE Ex: LXAV, LX1AV 1x, LXV	2					80	104	133	160	188	233	275	314	359	398	458	520				
		3					67	87	111	134	160	197	234	266	300	337	388	400				

Para os cabos enterrados e colocados dentro de tubos os valores indicados devem ser multiplicados por 0,8

8.2 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS PARA AS CONSTRUÇÕES STANDARD DOS CABOS DE BAIXA TENSÃO INDUSTRIAIS

TABELA 8.2.1 – CABOS 0,6/1KV: XV; XZ1(fr,t,zh) – CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Secção nominal dos condutores de fase (mm ²)	Resistência óhmica do condutor (Ω/km)					Indutância (mH/km) / Reactância (Ω/km)					
	dc,20°C	dc,90°C									
			ac,90°C			L	R(ωL)	L	R(ωL)	L	R(ωL)
1,5	12,1	15,43	15,43			0,33	0,1				
2,5	7,41	9,45	9,45			0,31	0,1				
4	4,61	5,88	5,88			0,29	0,09				
6	3,08	3,93	3,93			0,27	0,08				
10	1,83	2,33	2,33	2,33	2,33	0,25	0,08	0,53	0,17	0,35	0,11
16	1,15	1,47	1,47	1,47	1,47	0,24	0,08	0,5	0,16	0,32	0,1
25	0,727	0,927	0,927	0,927	0,927	0,24	0,08	0,49	0,15	0,31	0,1
35	0,524	0,668	0,668	0,668	0,668	0,23	0,07	0,48	0,15	0,29	0,09
50	0,387	0,493	0,493	0,493	0,493	0,23	0,07	0,47	0,15	0,29	0,09
70	0,268	0,342	0,343	0,342	0,343	0,23	0,07	0,46	0,14	0,28	0,09
95	0,193	0,246	0,247	0,246	0,247	0,22	0,07	0,45	0,14	0,27	0,08
120	0,153	0,195	0,196	0,196	0,196	0,22	0,07	0,45	0,14	0,26	0,08
150	0,124	0,158	0,159	0,159	0,159	0,22	0,07	0,45	0,14	0,26	0,08
185	0,0991	0,1264	0,1279	0,1273	0,128	0,22	0,07	0,44	0,14	0,26	0,08
240	0,0754	0,0961	0,0981	0,0973	0,0982	0,22	0,07	0,44	0,14	0,25	0,08
300	0,0601	0,0766		0,0781	0,0793			0,43	0,14	0,25	0,08
400	0,047	0,0599		0,0618	0,0634			0,43	0,14	0,25	0,08
500	0,0366	0,0467		0,049	0,051			0,43	0,14	0,25	0,08
630	0,0283	0,0361		0,039	0,0414			0,43	0,14	0,25	0,08

Cabos monocondutores em esteira com afastamento entre si igual ao respectivo diâmetro.
Secção até 6 mm² classe 1. A partir de 6 mm² classe 2.

TABELA 8.2.2 – CABOS 0,6/1KV: XV; XZ1(fr,t,zh) – CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Secção nominal dos condutores de fase (mm ²)	Queda de tensão (V/A/km)											
												
	T = 65°C		T = 90°C		T = 65°C		T = 90°C		T = 65°C		T = 90°C	
	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8
1,5	7,56	19,84	8,18	21,48								
2,5	4,7	12,19	5,07	13,2								
4	2,97	7,61	3,2	8,24								
6	2,02	5,11	2,17	5,52								
10	1,25	3,07	1,34	3,32	1,4	3,16	1,49	3,41	1,3	3,1	1,39	3,34
16	0,83	1,96	0,89	2,12	0,97	2,04	1,03	2,2	0,87	1,98	0,93	2,14
25	0,58	1,27	0,61	1,37	0,69	1,34	0,73	1,44	0,61	1,29	0,65	1,39
35	0,44	0,93	0,46	1	0,57	1,01	0,59	1,08	0,47	0,95	0,5	1,02
50	0,35	0,7	0,37	0,76	0,48	0,79	0,5	0,84	0,38	0,73	0,4	0,78
70	0,28	0,51	0,29	0,55	0,39	0,58	0,41	0,62	0,31	0,53	0,33	0,57
95	0,23	0,39	0,24	0,41	0,35	0,46	0,36	0,49	0,25	0,4	0,26	0,43
120	0,21	0,32	0,22	0,34	0,32	0,4	0,33	0,42	0,23	0,33	0,23	0,35
150	0,19	0,28	0,2	0,29	0,31	0,35	0,31	0,37	0,21	0,29	0,21	0,3
185	0,18	0,24	0,18	0,25	0,29	0,31	0,3	0,32	0,19	0,25	0,2	0,26
240	0,16	0,2	0,17	0,21	0,28	0,27	0,28	0,28	0,18	0,21	0,18	0,22
300					0,27	0,25	0,27	0,25	0,17	0,18	0,17	0,19
400					0,26	0,22	0,26	0,23	0,16	0,16	0,16	0,17
500					0,25	0,21	0,26	0,21	0,16	0,15	0,16	0,15
630					0,25	0,2	0,25	0,2	0,15	0,14	0,15	0,14

Para os cabos resistentes ao fogo do tipo XZ1(fr,t,zh) a queda de tensão admissível deve ser determinada para temperaturas de funcionamento próximas do real numa situação de incêndio.

TABELA 8.2.3 – CABOS 0,6/1KV: XV; XZ1(fr,t,zh) – CIRCUITOS MONOFÁSICOS

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Resistência óhmica do condutor (Ω/km)				Indutância (mH/km) / Reactância (Ω/km)			
	dc,20°C	dc,90°C	ac,90°C		L	R(ωL)	L	R(ωL)
			☉	☉☉				
1,5	12,1	15,43	15,43		0,33	0,1		
2,5	7,41	9,45	9,45		0,31	0,1		
4	4,61	5,88	5,88		0,29	0,09		
6	3,08	3,93	3,93		0,27	0,08		
10	1,83	2,33	2,33	2,33	0,25	0,08	0,35	0,11
16	1,15	1,47	1,47	1,47	0,24	0,08	0,32	0,1
25	0,727	0,927	0,927	0,927	0,24	0,08	0,31	0,1
35	0,524	0,668	0,668	0,668	0,23	0,07	0,29	0,09
50	0,387	0,493	0,493	0,493	0,23	0,07	0,29	0,09
70	0,268	0,342	0,343	0,342	0,23	0,07	0,28	0,09
95	0,193	0,246		0,247			0,27	0,08
120	0,153	0,195		0,196			0,26	0,08
150	0,124	0,158		0,159			0,26	0,08
185	0,0991	0,1264		0,1276			0,26	0,08
240	0,0754	0,0961		0,0978			0,25	0,08
300	0,0601	0,0766		0,0788			0,25	0,08
400	0,047	0,0599		0,0627			0,25	0,08
500	0,0366	0,0467		0,0502			0,25	0,08
630	0,0283	0,0361		0,0406			0,25	0,08

Cabos monocondutores em esteira juntiva.

Secção até 6 mm² classe 1. A partir de 6 mm² classe 2.

TABELA 8.2.4 – CABOS 0,6/1KV: XV; XZ1(fr,t,zh) – CIRCUITOS MONOFÁSICOS

Secção nominal dos condutores de fase (mm ²)	Queda de tensão (V/A/km)							
	☉				☉☉			
	T = 65°C		T = 90°C		T = 65°C		T = 90°C	
	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8
1,5	8,73	22,9	9,45	24,81				
2,5	5,42	14,07	5,86	15,24				
4	3,43	8,79	3,7	9,52				
6	2,33	5,9	2,51	6,38				
10	1,44	3,54	1,55	3,82	1,5	3,58	1,61	3,86
16	0,96	2,26	1,03	2,45	1	2,29	1,07	2,47
25	0,67	1,47	0,71	1,58	0,7	1,49	0,75	1,6
35	0,5	1,07	0,53	1,15	0,54	1,1	0,57	1,18
50	0,41	0,81	0,43	0,87	0,44	0,84	0,47	0,9
70	0,32	0,59	0,34	0,63	0,36	0,61	0,38	0,66
95					0,29	0,46	0,3	0,49
120					0,26	0,39	0,27	0,41
150					0,24	0,33	0,25	0,35
185					0,22	0,28	0,23	0,3
240					0,21	0,24	0,21	0,25
300					0,2	0,21	0,2	0,22
400					0,19	0,19	0,19	0,2
500					0,18	0,17	0,18	0,18
630					0,17	0,16	0,18	0,16

Para os cabos resistentes ao fogo do tipo XZ1(fr,t,zh) a queda de tensão admissível deve ser determinada para temperaturas de funcionamento próximas do real numa situação de incêndio.

TABELA 8.2.5 – CABOS 0,6/1KV: XAV E X1AV – CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Secção nominal dos condutores de fase (mm ²)	Resistência óhmica do condutor (Ω/km)					Indutância (mH/km) / Reactância (Ω/km)					
	dc, 20°C	dc, 90°C									
			ac, 90°C			L	R(ωL)	L	R(ωL)	L	R(ωL)
1,5	12,1	15,43	15,43			0,36	0,11				
2,5	7,41	9,45	9,45			0,33	0,1				
4	4,61	5,88	5,88			0,31	0,1				
6	3,08	3,93	3,93			0,29	0,09				
10	1,83	2,33	2,33	2,33	2,33	0,27	0,08	0,85	0,27	0,44	0,14
16	1,15	1,47	1,47	1,47	1,47	0,26	0,08	0,8	0,25	0,4	0,13
25	0,727	0,927	0,927	0,927	0,927	0,26	0,08	0,77	0,24	0,38	0,12
35	0,524	0,668	0,668	0,668	0,668	0,25	0,08	0,74	0,23	0,36	0,11
50	0,387	0,493	0,493	0,493	0,493	0,25	0,08	0,71	0,22	0,35	0,11
70	0,268	0,342	0,343	0,342	0,342	0,25	0,08	0,68	0,21	0,33	0,1
95	0,193	0,246	0,247	0,246	0,247	0,24	0,08	0,65	0,2	0,32	0,1
120	0,153	0,195	0,196	0,195	0,196	0,24	0,08	0,63	0,2	0,31	0,1
150	0,124	0,158	0,159	0,159	0,159	0,24	0,08	0,61	0,19	0,3	0,09
185	0,0991	0,1264	0,1279	0,1271	0,1277	0,24	0,08	0,59	0,19	0,29	0,09
240	0,0754	0,0961	0,0981	0,097	0,0979	0,24	0,08	0,57	0,18	0,28	0,09
300	0,0601	0,0766		0,0778	0,0788			0,55	0,17	0,28	0,09
400	0,047	0,0599		0,0614	0,0629			0,53	0,17	0,27	0,08
500	0,0366	0,0467		0,0487	0,0505			0,52	0,16	0,27	0,08

Cabos monocondutores em esteira com afastamento entre si igual a 7 cm.

TABELA 8.2.6 – CABOS 0,6/1KV: XAV E X1AV- CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Secção nominal dos condutores de fase (mm ²)	Queda de tensão (V/A/km)											
												
	T = 65°C		T = 90°C		T = 65°C		T = 90°C		T = 65°C		T = 90°C	
	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8
1,5	7,58	19,85	8,2	21,49								
2,5	4,7	12,19	5,07	13,2								
4	2,98	7,62	3,22	8,25								
6	2,03	5,12	2,19	5,54								
10	1,25	3,07	1,34	3,31	1,56	3,26	1,65	3,51	1,35	3,13	1,44	3,37
16	0,83	1,96	0,9	2,12	1,11	2,14	1,18	2,3	0,92	2,01	0,98	2,17
25	0,58	1,27	0,61	1,37	0,84	1,44	0,88	1,53	0,64	1,31	0,68	1,41
35	0,45	0,94	0,48	1,01	0,7	1,09	0,73	1,16	0,5	0,97	0,53	1,04
50	0,37	0,71	0,39	0,77	0,6	0,86	0,62	0,91	0,42	0,75	0,44	0,8
70	0,3	0,52	0,31	0,56	0,51	0,66	0,52	0,69	0,33	0,54	0,34	0,58
95	0,25	0,4	0,26	0,43	0,45	0,52	0,46	0,55	0,28	0,42	0,29	0,45
120	0,23	0,33	0,23	0,35	0,42	0,46	0,43	0,48	0,26	0,35	0,27	0,38
150	0,21	0,29	0,21	0,3	0,39	0,4	0,4	0,42	0,22	0,3	0,23	0,31
185	0,19	0,25	0,2	0,26	0,37	0,36	0,38	0,37	0,21	0,26	0,21	0,27
240	0,18	0,21	0,18	0,22	0,34	0,31	0,35	0,32	0,2	0,22	0,2	0,23
300					0,32	0,28	0,32	0,28	0,19	0,19	0,19	0,2
400					0,31	0,26	0,31	0,26	0,16	0,16	0,16	0,17
500					0,29	0,23	0,29	0,23	0,16	0,15	0,16	0,15

TABELA 8.2.7 – CABOS 0,6/1KV: XAV; X1AV – CIRCUITOS MONOFÁSICOS

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Resistência ôhmica do condutor (Ω/km)				Indutância (mH/km) / Reactância (Ω/km)			
	dc,20°C	dc,90°C	ac,90°C		L		R(ωL)	
			☉	☉☉	☉	☉☉	L	R(ωL)
1,5	12,1	15,43	15,43		0,36	0,11		
2,5	7,41	9,45	9,45		0,33	0,1		
4	4,61	5,88	5,88		0,31	0,1		
6	3,08	3,93	3,93		0,29	0,09		
10	1,83	2,33	2,33	2,33	0,27	0,08	0,44	0,14
16	1,15	1,47	1,47	1,47	0,26	0,08	0,4	0,13
25	0,727	0,927	0,927	0,927	0,26	0,08	0,38	0,12
35	0,524	0,668	0,668	0,668	0,25	0,08	0,36	0,11
50	0,387	0,493	0,493	0,493	0,25	0,08	0,35	0,11
70	0,268	0,342	0,343	0,342	0,25	0,08	0,33	0,1
95	0,193	0,246		0,247			0,32	0,1
120	0,153	0,195		0,196			0,31	0,1
150	0,124	0,158		0,159			0,3	0,09
185	0,0991	0,1264		0,1277			0,29	0,09
240	0,0754	0,0961		0,0979			0,28	0,09
300	0,0601	0,0766		0,0788			0,28	0,09
400	0,047	0,0599		0,0629			0,27	0,08
500	0,0366	0,0467		0,0505			0,27	0,08

Cabos monocondutores em esteira juntiva.

TABELA 8.2.8 – CABOS 0,6/1KV: XAV E X1AV – CIRCUITOS MONOFÁSICOS

Secção nominal dos condutores de fase (mm ²)	Queda de tensão (V/A/km)							
	☉				☉☉			
	T = 65°C		T = 90°C		T = 65°C		T = 90°C	
	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8
1,5	8,75	22,92	9,47	24,82				
2,5	5,42	14,07	5,86	15,24				
4	3,45	8,8	3,72	9,53				
6	2,35	5,91	2,53	6,4				
10	1,44	3,54	1,55	3,82	1,56	3,61	1,66	3,9
16	0,96	2,26	1,03	2,45	1,06	2,32	1,13	2,51
25	0,67	1,47	0,71	1,58	0,74	1,51	0,78	1,63
35	0,52	1,08	0,55	1,16	0,58	1,12	0,61	1,2
50	0,43	0,83	0,45	0,88	0,48	0,86	0,5	0,92
70	0,34	0,6	0,36	0,64	0,38	0,63	0,4	0,67
95					0,33	0,48	0,34	0,52
120					0,3	0,41	0,31	0,43
150					0,26	0,34	0,27	0,36
185					0,24	0,3	0,25	0,31
240					0,23	0,25	0,23	0,26
300					0,21	0,22	0,22	0,23
400					0,19	0,19	0,19	0,2
500					0,18	0,17	0,18	0,18

TABELA 8.2.9 – CABOS LXV 0,6/1KV CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Secção nominal dos condutores de fase (mm ²)	Resistência óhmica do condutor (Ω/km)					Indutância (mH/km) / Reactância (Ω/km)					
	dc, 20°C	dc, 90°C									
			ac, 90°C			L	R(ωL)	L	R(ωL)	L	R(ωL)
16	1,91	2,45	2,45	2,45	2,45	0,24	0,08	0,51	0,16	0,33	0,1
25	1,2	1,54	1,54	1,54	1,54	0,24	0,08	0,49	0,15	0,31	0,1
35	0,868	1,113	1,113	1,113	1,113	0,23	0,07	0,48	0,15	0,29	0,09
50	0,641	0,822	0,822	0,822	0,822	0,23	0,07	0,47	0,15	0,29	0,09
70	0,443	0,568	0,568	0,568	0,568	0,23	0,07	0,47	0,15	0,28	0,09
95	0,320	0,41	0,411	0,41	0,41	0,22	0,07	0,45	0,14	0,27	0,08
120	0,253	0,324	0,325	0,324	0,325	0,22	0,07	0,45	0,14	0,26	0,08
150	0,206	0,264	0,265	0,264	0,265	0,22	0,07	0,45	0,14	0,26	0,08
185	0,164	0,21	0,211	0,211	0,211	0,22	0,07	0,44	0,14	0,26	0,08
240	0,125	0,16	0,162	0,161	0,161	0,22	0,07	0,44	0,14	0,25	0,08
300	0,100	0,1282		0,1291	0,1298			0,44	0,14	0,25	0,08
400	0,0778	0,0997		0,1008	0,1018			0,43	0,14	0,25	0,08
500	0,0605	0,0776		0,0791	0,0803			0,43	0,14	0,25	0,08
630	0,0469	0,0601		0,062	0,0636			0,43	0,14	0,24	0,08

Cabos monocondutores em esteira com afastamento entre si igual ao respectivo diâmetro.

TABELA 8.2.10 – CABOS LXV 0,6/1KV –CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Secção nominal dos condutores de fase (mm ²)	Queda de tensão (V/A/km)											
												
	T = 65°C		T = 90°C		T = 65°C		T = 90°C		T = 65°C		T = 90°C	
	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8
16	1,3	3,21	1,4	3,48	1,44	3,29	1,54	3,56	1,34	3,23	1,44	3,5
25	0,87	2,05	0,93	2,22	0,98	2,12	1,05	2,29	0,9	2,07	0,96	2,24
35	0,65	1,49	0,69	1,61	0,78	1,58	0,83	1,7	0,68	1,51	0,73	1,64
50	0,51	1,12	0,54	1,21	0,64	1,21	0,67	1,29	0,54	1,14	0,58	1,23
70	0,39	0,8	0,41	0,86	0,52	0,88	0,54	0,94	0,42	0,82	0,44	0,88
95	0,31	0,6	0,33	0,64	0,43	0,67	0,44	0,71	0,33	0,61	0,34	0,65
120	0,27	0,49	0,28	0,52	0,39	0,56	0,4	0,59	0,29	0,5	0,3	0,53
150	0,24	0,41	0,25	0,44	0,36	0,48	0,37	0,51	0,26	0,42	0,27	0,45
185	0,22	0,34	0,22	0,37	0,33	0,41	0,34	0,44	0,23	0,35	0,24	0,38
240	0,19	0,28	0,2	0,3	0,31	0,35	0,31	0,37	0,21	0,29	0,22	0,31
300					0,29	0,31	0,3	0,32	0,19	0,25	0,2	0,26
400					0,28	0,27	0,28	0,29	0,18	0,21	0,18	0,22
500					0,27	0,25	0,27	0,26	0,17	0,19	0,17	0,19
630					0,26	0,22	0,26	0,23	0,16	0,16	0,16	0,17

TABELA 8.2.11 – CABOS LVAV 0,6/1KV – CIRCUITOS TRIFÁSICOS 

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Resistência ôhmica do condutor (Ω/km)			Indutância (mH/km) Reactância (Ω/km)		Queda de tensão (V/A/km)			
	dc,20°C	dc,70°C	ac,70°C	L	R(ωL)	T = 55°C		T = 70°C	
						cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8
16	1,91	2,29	2,29	0,28	0,09	1,28	3,11	1,34	3,27
25	1,2	1,44	1,44	0,28	0,09	0,86	1,99	0,9	2,09
35	0,868	1,043	1,043	0,27	0,08	0,65	1,46	0,67	1,53
50	0,641	0,77	0,77	0,27	0,08	0,51	1,1	0,53	1,15
70	0,443	0,532	0,532	0,26	0,08	0,39	0,78	0,41	0,82
95	0,32	0,384	0,384	0,26	0,08	0,32	0,59	0,33	0,62
120	0,253	0,304	0,305	0,25	0,08	0,28	0,48	0,29	0,51
150	0,206	0,248	0,249	0,25	0,08	0,25	0,41	0,26	0,43
185	0,164	0,197	0,198	0,25	0,08	0,23	0,34	0,23	0,36
240	0,125	0,15	0,151	0,25	0,08	0,21	0,28	0,21	0,29

TABELA 8.2.12 – CABOS LVAV 0,6/1KV – CIRCUITOS MONOFÁSICOS 

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Resistência ôhmica do condutor (Ω/km)			Indutância (mH/km) Reactância (Ω/km)		Queda de tensão (V/A/km)			
	dc,20°C	dc,70°C	ac,70°C	L	R(ωL)	T = 55°C		T = 70°C	
						cosφ = 0,3	cosφ = 0,8	cosφ = 0,3	cosφ = 0,8
16	1,91	2,29	2,29	0,28	0,09	1,48	3,6	1,55	3,77
25	1,2	1,44	1,44	0,28	0,09	0,99	2,3	1,04	2,41
35	0,868	1,043	1,043	0,27	0,08	0,75	1,68	0,78	1,76

REFERÊNCIAS

“Power Cables and their application” - Lothar Heinhold - Siemens

“Electric Cables Handbook” - D. McAllister - BICC

“Silec - Catalogue General”

R.T.I.E.B.T (Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão – Decreto Lei nº 226/2005 e Portaria nº 949-A/2006).